

II.

Das binaurale Hören.

Von E. Bloch in Freiburg i. Br.

(Mit sechs Abbildungen im Texte.)

Eingegangen 15. Dezember 1892.

Die Verhältnisse des binauralen Hörens sind noch nicht häufig Gegenstand physiologischer Untersuchungen gewesen. Und was diese an anscheinend positiven Ergebnissen zu Tage gefördert, ist gerade für die wichtigsten Punkte noch so controvers, dass wir von einem Abschlusse der vorwürfigen Fragen offenbar noch weit entfernt sind. Eine kurze Skizzirung der in der Literatur zerstreuten hierher gehörigen Arbeiten wird dieses wenig erfreuliche Urtheil begründen.

I.

In einer Note »Sur les perceptions binauricales« theilt F. P. Le Roux¹⁾ eine der interessantesten aller in das Gebiet des binauralen Hörens fallenden Erscheinungen mit:

Wenn man von zwei unisonen Stimmgabeln, am besten solchen von längerer Schwingungsdauer, je eine vor das rechte und das linke Ohr hält, so klingt der Ton erheblich verstärkt. Die Erscheinung wird besonders deutlich, wenn die eine der beiden Stimmgabeln abwechselnd dem betreffenden Ohre näher und weiter von ihm entfernt gehalten wird. Man kann sich, meint Le Roux, eine Vorstellung von der grösseren Tonfülle machen, wenn man die Intensität der Wahrnehmungen beider Ohren nicht einfach addirt, sondern ausserdem gleichsam ins Quadrat erhebt.

Aus dieser Eigenthümlichkeit des binauralen Hörens erklärt nun Le Roux die Paracusis Willisii, das Besserhören bei Geräuschen. Das zur Unterstützung des schwachen Gehörs veranstaltete Geräusch enthält

¹⁾ Gaz. hebdom. de Méd. et de Chirurgie 1875, 7. Mai, No. 19, S. 296.

stets einzelne Klänge, welche auch in den gesprochenen Worten enthalten sind und somit diese letzteren verstärken, wenn sie gleichzeitig ertönen.

Mit einem verwandten Gegenstande beschäftigte sich 1877 der englische Physiker Thompson¹⁾. Er verband die Resonatoren zweier c_1 (= 256 Schw. p. Sec.) Gabeln, die in zwei entfernten Zimmern sich befanden, durch Gummischläuche dicht mit seinen Ohren. Die Stimmungsgabeln wurden schwebend gemacht und je eine einem Resonator genähert. Die Töne begegneten sich auf diese Weise erst im Kopfe des Beobachters; nichtsdestoweniger wurden die Schwebungen deutlich wahrgenommen, selbst dann noch, als die Stimmungsgabeln »so leise tönten, dass man sie einzeln nicht mehr hören konnte«. Die Schwebungen werden in den Hinterkopf (»cerebellum«) verlegt. Indessen war der Phasenunterschied insofern undeutlicher zu erkennen, als die Abschwächung des Tones, das Intensitätsminimum nicht so bestimmt wie sonst hervortrat.

Th. ist geneigt, die Entstehung der Schwebungen in das Gehirn, d. h. in das Apperceptionsorgan selbst zu verlegen und erklärt die Tatsache, dass an sich unhörbare Töne noch wahrnehmbare Schwebungen erzeugen, aus der Discontinuität der Empfindung, die stärker sei als eine continuirliche.

In einer zweiten Abhandlung²⁾ beschäftigt sich derselbe Autor hauptsächlich mit den subjectiven Localisationerscheinungen im Innern des Kopfes, wie sie binaural zugeleitete Töne verursachen.

Dass solche Töne im Allgemeinen im Hinterkopfe empfunden werden, geben ihm verschiedene Beobachter an. Hält man zwei einen Ton überbringende Telephone selbst etwas entfernt von den Ohren, so wird, vorausgesetzt dass die Entfernung beiderseits die gleiche ist, der Ton im Hinterkopfe wahrgenommen. Sobald aber die Tonempfindung der einen Seite überwiegt, wenn etwa das Telephon vom anderen Ohre weiter zurückgezogen wird, so wandert der Ton aus dem Hinterkopfe »innen am Schädel entlang« nach der Seite des stärker empfindenden Ohres zu. Diese Localisation des »akustischen Bildes« im Hinterhaupte ist unabhängig von der Höhe des Tones, ändert sich aber bei gegenseitiger Phasenverschiebung. Sind die Phasen genau entgegengesetzt, so empfindet man den Ton im Hinterkopfe, bei geringeren Verschiebungen dagegen theils im Kopfe, theils in den Ohren.

1) Silvanus P. Thompson, On binaural Audition. Philos. Magazine and Journal of Science, Vol. IV, fifth series, II. London 1877, S. 274 ff.
 — 2) S. P. Thompson, Phenomena of binaural audition. Ebendas. Vol. VI, Part II, 1878. S. 383 ff.

Durch eine besondere Versuchsanordnung ermittelt Th., dass man bei binaural zugeleiteten zusammengesetzten Klängen ($c_1 = 256$ Schw. und $c_2 = 512$ Schw.) einen Phasenunterschied eines der beiden Töne erkennen kann. Kommen nämlich zunächst beide Töne zusammen in gleichen Phasen zu Gehör, so hört er sie »in den Ohren«. Wird nun aber die c_2 -Gabel um 90° gedreht, so dass die Phasen entgegengesetzt werden, so hört er c_2 im Hinterkopfe, während c_1 in den Ohren bleibt. Da nun beim gewöhnlichen Hören solche Phasenverschiebungen einzelner Partialtöne zusammengesetzter Klänge stets vorkommen, sobald letztere nicht genau in der Medianebene entstehen, so muss dies für die binaurale Erkennung der Qualität eines zusammengesetzten Tones von Bedeutung sein.

Schliesslich constatirt Th. noch die Erscheinung, dass der Ton einer kleinen Stimmgabel, die man seitlich auf das Scheitel- oder das Hinterhauptbein aufsetzt, im Ohre der gegenüberliegenden Seite wahrgenommen wird, ohne aber einen Versuch zur Erklärung dieses Phänomens zu machen. (Dasselbe ist ähnlich bereits 1871 von Lucae beobachtet und 1882 von Kessel genauer studirt worden.)

Die Untersuchungen Thompson's über das »akustische Bild« wurden 1881 von Urbantschitsch¹⁾ aufgenommen und weitergeführt. U. findet, dass das »subjective Hörfeld«, wie er Th.s »acoustic image« wiedergibt, bei verschiedenen Beobachtern und selbst bei der gleichen Person für verschiedene Töne an verschiedenen Stellen des Kopfes liegen kann. Nebenbei erwähnt er, dass die fragliche Erscheinung schon seit 1860 Purkyně bekannt war. In den Ohren, den Schläfegegenden, in der Mittellinie des Kopfes, im Nacken, der Stirn, Nase, dem Rachen, an mehreren Stellen zugleich, ja sogar an verschiedenen Punkten ausserhalb des Kopfes wird das subjective Hörfeld von einzelnen Versuchspersonen localisirt. Dagegen hat dasselbe bei der gleichen Person für denselben Ton eine constante Stelle. Bestehen getrennte Hörfelder für hohe und tiefe Töne, so werden dieselben auch bei deren gleichzeitiger Zuleitung beibehalten und nie an einer Stelle combinirt. Das Nämliche gilt für Geräusche. Wird die Zuleitung zu dem einen Ohre vermindert, so rückt das subjective Hörfeld nach der Seite der stärkeren Erregung.

Dem gleichen Forscher verdanken wir eine weitere interessante Beobachtung, zu welcher wir später wiederholt zurückkehren müssen,

¹⁾ V. Urbantschitsch, Zur Lehre von der Schallempfindung, II. Ueber das subjective Hörfeld. Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 24, 1881, S. 579 ff.

die aber hier in der Reihe der Untersuchungen über das binotische Hören ihre Stelle findet.¹⁾

Unter einer unbewussten akustischen Empfindung versteht U. eine solche, die das Ohr für sich allein nicht wahrnimmt, welche aber dennoch einen erweislichen Einfluss auf eine ausserdem vorhandene Gehörswahrnehmung ausübt. Man bewaffnet beide Ohren mit je einem Hörschlauche, dessen freies Ende gegenüber einer Uhr sich befindet, deren Ticken eben noch schwach erkennbar ist. Der eine Schlauch, etwa der linke, wird nun etwas weiter von der Uhr entfernt, so dass man nur noch durch den rechten das Ticken hört. Drückt man nun den linken Schlauch zu, so hört man thatsächlich die Uhr im rechten Ohr, sobald aber der verschlossen gewesene linke Hörschlauch freigelassen wird, wandert das Ticken in den Kopf hinein — es entsteht ein subjectives Hörfeld. Wird wieder der linke Schlauch verschlossen, so kehrt binnen 1—3 Secunden das Geräusch nach dem rechten Ohr zurück. Dieser Wechsel in der Wahrnehmung des subjectiven Hörfeldes beruht nach U. in dem Mischeindrucke auf das rechte deutlich hörende und das linke Ohr, von welchem das Urticken vermöge seiner geringen Intensität nicht wahrgenommen wird. Das innerhalb einer messbaren Zeit erfolgende langsame Wandern des subjectiven Hörfeldes spricht dafür, dass diese unbewusste akustische Empfindung nicht plötzlich entsteht und vergeht, sondern innerhalb einiger weniger Secunden an- und abklingt.

Wie in einer früheren Arbeit die Beobachtungen des englischen Physikers, so nimmt der gleiche Verfasser in einer folgenden²⁾ den oben zuerst skizzirten Le Roux'schen Versuch zum Ausgangspunkt einer weiteren Untersuchungsreihe.

U. bestätigt zunächst die Beobachtung Le Roux' und variirte dieselbe sodann in der Weise, dass er nicht unisone Töne verwendete, sondern für das eine Ohr einen hohen, für das andere einen tiefen Ton, oder für das eine ein Geräusch (Urticken), für das andere einen hohen oder tiefen Ton, oder gar zwei etwas verschiedene Geräusche (zwei Uhren). Bei Anstellung solcher Versuche mit Schwerhörigen ergab sich, dass das zuerst unhörbare Urticken zur Wahrnehmung gelangte, wenn

¹⁾ V. Urbantschitsch, Ueber das An- und Abklingen akustischer Empfindungen. III. Ueber das An- und Abklingen unbewusster akustischer Empfindungen. Pflüger's Archiv 1881, Bd. 25, S. 339 ff. — ²⁾ V. Urbantschitsch, Ueber die Wechselwirkungen der innerhalb eines Sinnesgebietes gesetzten Erregungen. Pflüger's Archiv 1883, Bd. 31, S. 280 ff.

das andere Ohr durch einen Stimmgabelton gereizt wurde, sogar bei einzelnen selbst dann, wenn die Stimmgabel wieder entfernt worden war, bevor das Uhrlicken (nach 4—6 Secunden) bemerkt wurde. (In einzelnen Fällen wurde nicht eine Steigerung, sondern eine Herabsetzung der Hörschärfe eines Ohres durch Erregung des zweiten erzeugt.) Bei manchen Schwerhörigen macht U. die Beobachtung, dass sie das Uhrlicken oder die tönende Stimmgabel mit einem Ohre nicht hören, wohl aber bei binotischer Zuleitung. U. glaubt, dass diese Verstärkung der Tonempfindung nicht allein auf einer Ueberleitung der Schallwellen von einem Ohre zum anderen, sondern auch auf einer Steigerung der Erregung des zweiten Ohres bezw. dessen akustischer Centren durch die Erregung des ersten beruht. Das binotische Hören hätte also den Vortheil vor dem monauralen, dass die Erregung einer Gehörsempfindung nicht bloss von der Schallquelle ausgeht, sondern dass »noch ein central erregter subjectiver Reiz hinzutritt, der die Empfindung verstärkt«.

Ausser dieser quantitativen Verstärkung tritt bei binotisch zugeleiteten Stimmgabeltönen auch eine qualitative ein: der Ton wird voller, dabei gewöhnlich vertieft. Letzteres ist indessen eine rein subjective Empfindungstäuschung, die auf der von verschiedenen Beobachtern constatirten Thatsache beruht, dass wir denselben Ton für höher halten, wenn er leiser, für tiefer, wenn er lauter klingt. Diese scheinbare Vertiefung wurde auf $\frac{1}{8}$ Ton, von einzelnen Versuchspersonen U.'s selbst noch erheblicher geschätzt.

Bleibt ein binotischer Gehörsreiz unter der Schwelle der Empfindung, so kann man ihn durch Setzung eines weiteren akustischen Reizes mitunter noch wahrnehmbar machen, z. B. ein binotisch unhörbar leises Uhrlicken durch Aufsetzen einer tönenden Stimmgabel auf die Kopfknochen. Diese Erscheinung hatte bereits Politzer auf dem Mailänder Congress 1880 zur Erklärung der Hyperacusia Willisii herangezogen. Aber während dieser Autor annimmt, dass die Schwingungen der auf den Kopf aufgesetzten tiefen Stimmgabel die Verbindungen der Gehörknöchelchen lockern und diese wieder beweglicher werden, dass somit die Leitung auf dem gewöhnlichen Wege durch das Trommelfell verbessert werde, glaubt U., dass es sich dabei um den rein physiologischen Vorgang der Erregungssteigerung des Gehörs durch einen weiteren, neu hinzutretenden Schallreiz handelt. Wenn der letztere bei Schwerhörigen eine andere Intensität als bei Normalhörenden besitzt, um wirksam zu sein, so ist dies nicht auffallend.

Die Beeinflussung einer Sinnesfunction durch eine Erregung des-

selben Organs auf der anderen Körperseite beobachtete U. auch beim Gesicht-, Geruch-, Geschmack-, Tast- und Temperatursinn. Im Allgemeinen ergab sich eine Steigerung, zuweilen eine Herabsetzung der Reizwirkung.

In einer jüngst veröffentlichten Arbeit¹⁾ kommt der Autor nochmals auf diese Untersuchungen zurück und stützt seine soeben erwähnten Behauptungen durch wiederholte Experimente an Gesunden und Schwerhörigen.

Hier sei, abweichend von der zeitlichen Folge der erschienenen Arbeiten, noch eines kleinen Aufsatzes von Schäfer²⁾ Erwähnung gethan, welcher sich zweckmässiger an die soeben referirten als an die folgenden Arbeiten anreihet.

Schäfer findet, dass wenn man das zweite Ohr verschliesst, ein mit dem ersten gehörter leiser Stimmgabelton in den Kopf hineinwandert. Es ist ausgeschlossen, dass der Ton durch die Luft zu dem zweiten Ohr gelangt. Und doch muss dieses eine Sinneserregung erhalten und eine Schallempfindung erzeugen; denn nur wenn beide Ohren wirksam erregt sind, wird der betr. Schall im Innern des Kopfes localisirt (entsteht, um mit Urbantschitsch zu reden, ein subjectives Hörfeld). Da nun letzteres stattfindet, so folgt daraus, dass der Stimmgabelton mittelst der Kopfknochen nach dem verschlossenen Ohre hinübergeleitet wird. —

Dass eine der wichtigsten, wenn nicht geradezu die hauptsächlichste Function beider zu gemeinsamer Thätigkeit vereinigter Hörorgane die Erkennung der Schallrichtung ist, wird allseitig anerkannt.

Mit diesem schwierigen Gegenstande beschäftigt sich eine Arbeit Politzer's³⁾ über Paracusis loci, welche betont, dass zur Erkennung der Schallrichtung das binaurale Hören erforderlich ist. P. stellte mit Uhr und Flüstersprache zahlreiche Versuche an Normal- und Schwerhörigen an. Er fand, dass bei monauralem Hören der Schall wesentlich nach der Seite des offenen Ohres verlegt wird. Er ermittelte ferner, dass die Localisation in der Sagittalebene, in welcher beide Ohren stets gleich weit von der Schallquelle entfernt sind, besonders mangel-

¹⁾ V. Urbantschitsch, Ueber den Einfluss schwacher Schalleinwirkungen auf die akustische Empfindungsschwelle. Arch. f. Ohrenheilk. 1892, Bd. XXXIII, S. 186 ff. — ²⁾ K. L. Schäfer, Ein Versuch über die intracranielle Leitung leisester Töne von Ohr zu Ohr. Zeitschr. f. Psych. und Physiol. d. Sinnesorgane, Bd. II, 1891, S. 111 ff. — ³⁾ A. Politzer, Studien über die Paracusis loci. Arch. f. Ohrenheilk. 1876, Bd. XI, S. 231 ff.

haft ist. Die Versuche mit der in der Horizontalebene fortbewegten Uhr ergaben beim monauralen Hören, dass das Ticken auch dann noch nach der Seite des freien Ohres localisirt wurde, wenn die Schallquelle schon eine kleine Strecke weit nach der entgegengesetzten gewandert war. Je weiter die Uhr nach der Seite des verschlossenen Ohres rückt, desto unsicherer wird die Aussage über ihre Stellung. Ähnlich verhält es sich bei vielen Ohrenkranken, welche sich in der Schallrichtung häufig um 180° täuschen. Die Hypothese, dass diese Urtheilstäuschung auf einer Erkrankung der Bogengänge beruhe, wie früher angenommen worden, ist weder durch das Experiment, noch durch pathologische Beobachtung gestützt. Es kann bei Erkrankungen im Labyrinth die Schalllocalisation intact sein und gestört bei einfachen Veränderungen im Schallleitungsapparate. Diese Anomalie der Richtungserkennung ist eben die Paracusis loci, welche bereits Valsalva und Morgagni kannten.

Die Verminderung der Localisationsschärfe beobachtete P. bei einseitig und bei doppelseitig Schwerhörigen. Die anatomischen Veränderungen betrafen zumeist das äussere Ohr und die Paukenhöhle ohne gleichzeitige — oder seltener mit gleichzeitiger Labyrinthaffection. Meist war allerdings das Leiden einseitig. Die Paracusis loci kam manchen Kranken erst zum Bewusstsein, als eigens zu ihrer Feststellung Versuche ausgeführt wurden.

Auf einem anderen Wege sucht Steinhauser¹⁾ der Erkenntniss der Schalllocalisation näher zu kommen. Durch goniometrische Berechnungen will er darlegen, dass wir im Stande sind, »in Folge des binauralen Hörens aus Schallwahrnehmungen zu erkennen, in welchem Hörbereiche sich der Schallerreger befindet«. St. unterscheidet ein nach vorn vor den Ohrmuscheln gelegenes Bereich des directen Hörens, in welchem letztere beiderseits von Schallstrahlen direct getroffen werden, ein beiderseits der Muscheln liegendes Bereich des gemischten Hörens, in welchem nur zu einer Muschel directe Schallstrahlen gelangen, und endlich ein rückwärts befindliches Bereich des indirecten Hörens. Ein genaues Erkennen der Schallrichtung ist nach St. nur für das Bereich des directen binauralen Hörens möglich. Der Winkel, unter welchem die Ohrmuscheln zur Schallrichtung geneigt sind, übt nach St.'s theoretischen Erörterungen beim binauralen Hören unter Umständen einen

¹⁾ Anton Steinhauser, Die Theorie des binauralen Hörens. Ein Beitrag zur Lehre vom Schalle. Wien 1877.

nicht unbedeutenden Einfluss aus, besonders wird mit der Zunahme dieses Winkels das Hören in der Sehrichtung besser und feiner.

In einer Experimentaluntersuchung über die Bedeutung der Ohrmuscheln betont Kessel¹⁾ zuvörderst zwei Thatsachen, dass einmal das Ohr Intensitätsschwankungen kleinster Abstufung erkennen kann, und sodann das Princip der Verlegung des Schalles nach der Seite der stärkeren Erregung. Um nun den Einfluss der Ohrmuschel kennen zu lernen, wird zunächst ein Ohr verstopft. Als Schallquellen dienen bei den Versuchen starke Stimmgabeln, eine Taschenuhr und ein Dampf-inhalationsapparat. Bringt man eine derselben in der Medianaxe nach vorn, dann nach hinten, dann seitwärts in die Axe des Gehörganges, stets auf Kopfhöhe, so zeigt sich, dass man vorn weiter hört als hinten, aber nicht so weit als seitwärts. Wird die Muschel an den Kopf angedrückt, so hört man den von hinten kommenden Schall besser als zuvor, den von vorn kommenden schlechter. Legt man die Hohlhand an die Muschel, so tritt das umgekehrte Verhältniss ein; bei beiden Anordnungen bleibt die Hörschärfe in der Richtung der Gehörgangaxe unverändert.

Bewegt man die Schallquelle parallel zur Medianebene an der Muschel vorbei von vorn nach hinten, so steigt plötzlich die Schallintensität in dem Augenblicke, in welchem der Rand des Tragus passiert wird, und sie sinkt ganz erheblich, wenn jene hinter dem hinteren Muschelrande verschwindet. Ein ähnlicher Wechsel findet statt, wenn man den Schallgeber von unten nach oben an der Ohrmuschel vorüberführt: auf der Höhe des Gehörganges steigt die Intensität an, am oberen Rande der Muschel sinkt sie bedeutend ab. Man kann also mit Rücksicht auf die anatomischen Marken an der Ohrmuschel fünf Hörbereiche annehmen. Ein vorderes erstreckt sich von der Medianaxe bis zum Rande des Tragus, ein mittleres von hier bis zum hinteren Muschelrande, ein hinteres von da bis zur Verlängerung der Medianaxe nach hinten, ein unteres bis herauf zur unteren Wand des Gehörganges, und ein oberes liegt nach aufwärts von dessen oberer Wand.

Beim binauralen Hören findet K. die Hörschärfe vorn und hinten in der Medianaxe gleich der monauralen, aber ebenfalls geringer als in der Gehörgangaxe. Er schliesst aus seinen Versuchen, dass das

¹⁾ J. Kessel, Ueber die Function der Ohrmuschel bei den Raumwahrnehmungen. Arch. f. Ohrenheilk., Bd. XVIII, 1882, S. 120 ff.

beste binaurale Hören vorn in der Medianebene stattfindet, dagegen das absolut beste Hören monaural in der Richtung der Axe des meatus.

Zur Abschätzung der Entfernung einer Tonquelle benutzen wir zunächst die Wahrnehmung der Intensität derselben, ausserdem aber auch die Empfindung der Tonhöhe (Mach, Doppler u. A.). Nimmt letztere und nimmt gleichzeitig die Stärke zu, so schliessen wir auf eine Annäherung des Schallerzeugers und umgekehrt. Doch können beide Momente uns täuschen. Ist die Schallquelle in Bewegung, so kommt noch der rasche Intensitätswechsel hinzu, indem bald directe, bald reflectirte Strahlen ins Ohr gelangen, die verschieden laut klingen und die die verschiedenen Hörbereiche passiren. Wiewohl wir auch Aenderung der Klangfarbe und Aenderungen im Charakter von Geräuschen für unser Urtheil verwerthen, immer spielt der Intensitätsunterschied einer bewegten Schallquelle die wichtigste Rolle bei der Erkennung der Bewegung.

Wundt¹⁾ ist der Ansicht, dass nicht blos für die Beurtheilung der Entfernung, sondern auch für jene der Richtung eines Schalles wenigstens bis zu einem gewissen Grade die Intensität massgebend ist. Im Allgemeinen sind wir geneigt, stärkere Schalle nach vorn zu verlegen, beurtheilen übrigens links und rechts besser, als vorn und hinten. Die Richtungslocalisation hält auch W. für eine Function des binauralen Hörens.

Eingehende Untersuchungen über die Erkennung der Schallrichtung hat 1887 Preyer²⁾ angestellt. An 17 guthörenden Personen veranstaltete er gemeinsam mit K. Schäfer zahlreiche Beobachtungen, welche die Frage zu lösen bestimmt waren, ob bestimmte Richtungen eines und desselben Schalles von uns regelmässig erkannt werden. Geprüft wurde stets das ziemlich hohe, knackende Geräusch, welches eine kleine vierseitige, in einen Rahmen von drei Seiten lose eingespannte Stahlplatte erzeugte, wenn sie niedergedrückt und wenn sie wieder losgelassen wurde und zurückschnellte — das einstmals als Spielzeug im Schwang gewesene Pariser Cri-Cri. Und zwar wurden in allen Ebenen des Raumes zusammen 26 verschiedene, gleichmässig vertheilte Standorte der Schallquelle untersucht.

¹⁾ W. Wundt, Grundzüge der physiol. Psychologie, 3. Aufl. 1887, Bd. II, S. 80 ff. — ²⁾ W. Preyer, Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittelst der Bogengänge. Pflüger's Archiv 1887, Bd. XL. S. 586 ff.

In 29,4% aller Versuche wurde ein richtiges Urtheil gefällt. Am genauesten wurde rechts und links unterschieden, unter je 80 Fällen 50 bis 54 mal, am wenigsten genau die Richtungen vorn unten, vorn untenrechts und -links, untenrechts und -links, nämlich unter je 80 Fällen nur 5 bis 8 mal richtig. Unter tausenden von Proben wurde nie ein von rechts kommender Schall nach links verlegt und umgekehrt. Regelmässig wurden auch die Richtungen auf der r. resp. auf der l. Seite von den medianen Richtungen unterschieden und umgekehrt. Jede der geprüften Schallrichtungen wurde erkannt, einige freilich, wie angegeben, nur selten, dafür aber andere in $\frac{2}{3}$ aller Urtheile.

Aus seinem reichen Beobachtungsmateriale schliesst nun Pr., dass es die Bogengänge bzw. die Ampullennerven seien, welche die Erkennung der Schallrichtungen vermitteln. »Wenn man bedenkt,« sagt er, »dass die Fische, welche keine Schnecke haben, nicht allein hören, sondern auch trotz Fehlens einer äusseren Ohröffnung die Richtung erkennen, aus welcher ein Schall kommt, so erscheint die Vermuthung gerechtfertigt, dass es die Bogengänge seien, welche mittelst Kopfleitung diese Leistung ermöglichen.« Die Kopfleitung kommt allerdings bei den ausschliesslich im Wasser lebenden Thieren allein in Betracht; aber auch bei anderen Wirbelthieren werde durch Schallstrahlen verschiedener Einfallsrichtung die Endolympe der Bogengänge in Erschütterungen versetzt von derselben Frequenz und entsprechender Stärke, wie das umgebende Medium, Wasser oder Luft. Die Bewegung der Lymphe versetzt ihrerseits die Hörhaare der Ampullen in Mitschwingungen, und die hierdurch verursachten Erregungen der Nervenfasern der drei bzw. sechs verschiedenen Ampullen ergeben dabei ein dreifach bzw. sechsfach verschiedenes räumliches Empfinden. »Die spezifische Energie der Ampullennerven ist es, ein mit Schall verbundenes Raumgefühl zu geben und zwar ein Richtungsgefühl.« Die Art des Eindrucks wird durch die Schallrichtung bestimmt, indem immer ein Bogengang oder ein Paar solcher stärker als die anderen getroffen wird, wie das im Einzelnen Pr. auseinandersetzt. Dabei wird indess das Princip der Verlegung des Schalles nach der Seite der stärkeren Erregung voll anerkannt.

Werden beide Ohren verschlossen, so ist die Erkennung der Schallrichtung erheblich erschwert, entsprechend der Abnahme der Empfindungsstärke. Wurde ein Ohr verstopft, so localisirte der Beobachter mit Vorliebe nach der Seite des offenen Ohres — in Uebereinstimmung mit allen Untersuchern seit Chladni.

Schliesslich macht Pr. darauf aufmerksam, dass ein geübter erheblich sicherer urtheilt als ein ungeübter Beobachter; der beste lieferte 36 $\frac{0}{0}$, während die Mindestzahl richtiger Fälle 18 $\frac{0}{0}$ betrug.

Fortgesetzt und ergänzt werden diese Pr.'schen Studien in einer nach der gleichen Methode ausgeführten Arbeit von Arnheim¹⁾. Auch A. geht von der Annahme aus, dass eine Erkennung der Schallrichtungen mittelst der Bogengänge stattfindet. Auch er schliesst, wie sein Lehrer Preyer, bei seinen Versuchspersonen andere Hilfsmittel aus, welche die Localisation erleichtern. Solche Mittel sind: die Locomotion, d. h. die Bewegung des Horchenden nach der Richtung der Schallquelle; die Kopfbewegungen, durch welche die Ohren in die Richtung des besten Hörens gebracht werden; das Sehvermögen, das uns den Schallerzeuger und seine bekannten Bewegungen durch einen weiteren Sinn erkennen lässt; der Tastsinn, welcher durch Berührung der Schallquelle diese als solche erkennt; die Ohrmuscheln, mittelst welcher wir sehr leise Schalleindrücke als von vorn kommend erkennen.

Alle diese Hilfsmittel wurden dadurch ausgeschaltet, dass die Versuchspersonen mit geschlossenen Augen auf einen Stuhl gesetzt wurden. (Wie der Einfluss der Ohrmuscheln beseitigt worden, ist aus der Arbeit nicht zu ersehen.)

Beim Hören mit offenen Ohren kommt A. zu ungefähr den gleichen Resultaten, wie Preyer. Um die Kopfknochenleitung allein zu prüfen, werden die Ohreingänge durch festes Andrücken des Tragus oder mittelst des Fingers allein verschlossen. Wiederum in Uebereinstimmung mit Preyer sinkt nun die Zahl der richtigen Urtheile ganz erheblich. Verhältnissmässig gut sind sie noch in den Axen der Horizontalebene, schlechter in der Transversalebene, am unsichersten in der sagittalen.

Auch bei einseitig geschlossenem Hörorgane ist die Erkennung der Schallrichtung unter der getroffenen Versuchsanordnung noch möglich. So wurden die Richtungen

der r—l—Axe	in 54,2 $\frac{0}{0}$,
« o—u—Axe	in 50 «
« h—v—Axe	in 12,5 «

mit geschlossenem linken Ohre, und mit geschlossenem rechten die Richtungen

der r—l—Axe	in 34,4 $\frac{0}{0}$,
« o—u—Axe	in 40,6 «
« h—v—Axe	in 18,7 «

¹⁾ F. Arnheim, Beiträge zur Theorie der Localisation von Schallempfindungen mittelst der Bogengänge. Inaug. Diss. Jena 1887.

erkannt, während die offenen Ohren die Richtungen

der r—l—Axe	. . . . .	in 55,5 % ₀ ,
« o—u—Axe	. . . . .	in 38,8 «
« h—v—Axe	. . . . .	in 25 «

correct beurtheilten. Daraus ist der unerwartete Schluss zu ziehen, dass wir mit einem offenen Ohre den Ort der Schallquelle in den r—l—Richtungen nahezu ebenso gut erkennen als binaural, in der verticalen Axe (o—u) sogar noch besser (50 %₀ und 40,6 %₀ gegen 38,8 %₀ beim binauralen Hören). Nur die Localisation in der sagittalen Axe (hv) wäre binaural besser (25 %₀ richtige Urtheile) als monaural (12,5 %₀ resp. 18,7 %₀). Es wäre zu wünschen, dass diese auffallenden Resultate in grösseren Versuchsreihen nachgeprüft würden.

An diese Arbeiten schliesst sich eng eine solche von Münsterberg¹⁾ an. Wenn dieser Autor auch mit Preyer die Meinung theilt, dass die Bogengänge die Erkennung der Schallrichtung vermitteln, so sieht er doch anderseits die Nothwendigkeit ein, mit der weiteren Reihe von Thatsachen zu rechnen, welche diese Canäle als Sinnesorgane für die Wahrnehmung der Stellung und Bewegung des Kopfes reclamiren. Jede Theorie, sagt M., welche die Localisation der Gehörempfindungen und in Verbindung mit dieser die Function der Bogengänge erklären will, muss sowohl die neuen von Preyer festgestellten Thatsachen berücksichtigen als auch jene, welche seit Flourens von unzähligen Beobachtern constatirt wurden, dass nämlich Reizung der Bogengänge Kopfbewegungen in der Ebene des gereizten Canales hervorruft. Diese zwei Erscheinungsreihen widersprechen sich nicht, sondern sind nur »die beiden Seiten eines und desselben Vorganges«. Dadurch, dass jeder Schall aus einer gewissen Richtung einen bestimmten Bogengang, oder vorwiegend einen solchen, erregt, verursacht er gleichzeitig eine bestimmte Kopfbewegung, die durch Muskelempfindung zur Wahrnehmung gelangt. »Erst indem so jede Schallrichtung mit bestimmter Bewegung verbunden ist, jede Schallempfindung, der Schallrichtung entsprechend, mit bestimmter Bewegungsempfindung associirt ist, erst dadurch entsteht der Gehörraum.« Und »einen Schall localisiren, heisst, die Empfindung derjenigen reflectorischen Kopfbewegung, welche nothwendig ist, um sich der Schallquelle zuzuwenden, einordnen in das gesammte System der Kopfbewegungsempfindungen.«

¹⁾ H. Münsterberg, Raumsinn des Ohres. Beiträge zur experimentellen Psychologie, Heft 2, 1889, S. 182 ff.

Es ist aber für jegliches Geschöpf wichtig, bei einer Schallreizung sofort diejenige Bewegung des Kopfes auszuführen, durch welche letzterer in die Stellung des deutlichsten Hörens einrückt. Denn nun sind gleichzeitig auch der Gesichts- und Geruchssinn in der günstigsten Lage, um einen Eindruck von der Schallquelle zu erhalten, diese somit genauer zu beobachten. Wenn beim geistig entwickelten Menschen die erforderlichen Bewegungen auch nicht mehr stets ausgeführt, wenn sie central gehemmt werden, so tritt dafür die Erinnerungsreproduction der betreffenden Bewegungsempfindung ein und ersetzt so die früher wirklich vollzogene und empfundene.

Als Beleg für die Richtigkeit seiner Theorie von der Localisation der Schallempfindungen mittelst der Bogengänge führt M. den Urbantschitsch'schen Versuch an, der bereits oben (S. 28) geschildert ist. Die Einwirkung, welche die nicht wahrgenommene Schallempfindung im linken Ohre auf die Entstehung des subjectiven Hörfeldes ausübt, ist nach M. so zu verstehen, dass wir von r. Schall- und Richtungsempfindung erhalten, von l. nur Richtungswahrnehmung. Beide combiniren sich, und so entsteht das Vernehmen des Uhrtickens im Innern des Kopfes. Einzig bei diesem Versuche, meint M., lässt sich die Richtungswahrnehmung an sich, gewissermaassen unabhängig von der Schall-perception aussondern. Darum hält er ihn auch für einen schlagenden Beweis seiner Anschauungsweise.

Zur Bekräftigung derselben und um das noch lückenhafte empirische Material für die vorwürfigen Fragen zu vermehren, führt nun der Autor neue Versuche über die Schalllocalisation aus. Die früheren Beobachter, auch Preyer, Schäfer und Arnheim, haben nur einzelne bestimmte Schallrichtungen geprüft. M. will nun die allgemeinere Frage entscheiden, um wie viel Grade sich die Richtung eines Schalles ändern müsse, damit die Verschiebung der Schallquelle merkbar werde. Er suchte mit Hilfe seines Beobachters die eben merklich werdende Verschiebung in der Horizontal-, Frontal- und Sagittalebene. Als Prüfungsschall dient das schnurrende Geräusch, das der Knopf einer Remontoiruhr erzeugt, wenn er nach links gedreht wird. Dieses Geräusch wurde rasch nach einander dreimal hervorgerufen und ebenso nach einer Secunde an einer benachbarten Stelle der betr. Ebene, aber in stets gleicher Entfernung vom Kopfe. Damit wurde in immer grösseren Abständen fortgefahren, bis die Versuchsperson sicher aussagen konnte, nach welcher Seite die Schallquelle verschoben worden war.

Die Entfernung der Uhr vom Kopfmittelpunkte betrug stets 1 m. Der Beobachter sass auf einem Stuhle und musste die Augen schliessen. Bei den Bestimmungen im Frontal- und Sagittalkreise wurde die Schallquelle in senkrechten Bogen um die sitzende Versuchsperson herumgeführt.

Beim Horizontalkreise ist der 0-Punkt vorn, 90° rechts, 180° hinten, 270° links. Beide Seiten lieferten symmetrische Ergebnisse. Es zeigte sich, dass die Localisationsschärfe, d. h. die Fähigkeit, zwei Orte der Schallquelle als verschieden und in richtiger gegenseitiger Lage zu erkennen, von vorn nach hinten beständig abnimmt, von 1,5 cm bei 0° , zu 7,5 cm bei 90° bis zu 10,0 cm bei 180° . Soweit mussten also gerade hinter dem Kopfe, 1 m von seinem Mittelpunkt entfernt, die Orte der Schallquelle auseinanderliegen, um vom Beobachter in ihrer wahren gegenseitigen Lage erkannt zu werden.

Nach M. steht diese seine Curve im Widerspruch mit den Preyer'schen Ergebnissen, nach welchen »vorn und hinten, also 0° und 180° « sehr mangelhaft, dagegen »r. und l. also 90° und 270° « sehr genau unterschieden werden. Er hält aber die seinige für richtiger, »weil nur sie wirklich ein Ausdruck der Localisationsschärfe« ist. Beweisend für seine Theorie ist M. diese Zahlenreihe desshalb, weil sich aus ihr ergibt, wie die Intensität der Bewegungsempfindung »wächst mit der Grösse des Winkels«. Bei 90° muss beispielsweise eine grössere Ortsveränderung stattfinden als bei 45° , bei 180° mehr als bei 135° , weil mit der Grösse der erforderlichen Kopfwendung, um in die Stellung des besten Hörens zu kommen, auch die Bewegungsempfindung wächst (in Folge der grösseren Muskelcontractionen); und mit wachsender Empfindungsintensität steigt auch der eben merkbare Zuwachs der Verschiebung der Schallquelle.

Wäre dem nicht so, würde nicht die eben merkliche Verschiebungsgrösse wachsen mit der Grösse des Winkels, so wäre, sagt M., seine ganze Theorie widerlegt. Würde man etwa diejenige Theorie bevorzugen, welche die Localisation auf das Stärkeverhältniss der Erregung beider Ohren basirt und den Hörenden daraus sein Urtheil bilden lässt, so wäre z. B. unverständlich, wesshalb bei 180° nicht ebenso gut localisirt wird als bei 0° . In beiden Stellen ist ja doch das Erregungsverhältniss beider Ohren das gleiche.

Die Versuche in der Frontalebene liefern sowohl oben und unten (0° und 180° , als auch l. und r., bei 90° und bei 270° des

Meterkreises) Punkte der schärfsten Localisation, während dazwischen die Richtung weniger scharf erkannt wurde. Auch diese Ziffern — sie schwanken zwischen 2 und 8 cm — sucht M. in Einklang mit seiner Theorie der Bewegungsempfindungen bei der Schalllocalisation zu bringen, ebenso wie beim dritten, dem Sagittalkreise, der von oben, vorn, unten nach hinten um den Kopf herumführt. Hier wird am genauesten bei 135°, vorn unten (1,5 und 1,0 cm) und bei 270°, hinten, (1,0 und 1,0 cm) localisirt, am schlechtesten bei 315°, hinten oben (17,0 und 18,0 cm Verschiebung). Diese Tabelle, sagt gleichwohl M., im Gegensatz zu anderen Untersuchern, zeigt durchschnittlich eine noch höhere Localisationsschärfe, als sie im Horizontal- und im Frontalkreise stattfindet. Und ihr gegenüber, betont er weiter, versagt gänzlich jene Theorie, welche das Princip der beidseitigen Intensitätsvergleichung zur Voraussetzung hat; denn hier, in der Medianebene, ist ja die Schallstärke für beide Ohren stets gleich.

In einer ferneren Versuchsreihe für den Horizontalkreis war das r. Ohr verschlossen: die Localisation wurde dadurch erheblich schlechter als bei binauraler Beobachtung. Letztere ist darum zu einem genaueren Urtheilen über den Ort der Schallquelle durchaus erforderlich.

Eine weitere Versuchsreihe stellt fest, dass der Einfluss der Ohrmuschel, die in dieser Anordnung ausgeschaltet war, von vorn kommenden Schall begünstigt, aber nur in geringem Grade. Sie wirkt hierbei wohl »als Schallbecher, der die Luftwellen besser zu den Bogengängen reflectirt und dadurch der Localisation Vorschub leistet.« —

Es ist nicht zu verkennen, dass sowohl die Preyer'schen, als auch Münsterberg's Ausführungen ihre schwachen Seiten haben und gewisse Bedenken erregen, die theilweise in einer jüngst erschienenen Arbeit Prof. v. Kries' über den gleichen Vorwurf¹⁾ berührt werden.

v. Kries scheinen die Eigenthümlichkeiten der Localisation in der Horizontal- und der Frontalebene — er schlägt für sie die Bezeichnung Rechtslinkslocalisation vor — auch nach den Preyer'schen und Münsterberg'schen Untersuchungen noch immer mit dem früher aufgestellten Princip der Intensitätsvergleichung beider Ohren vereinbar zu sein. Aber auch die Localisation in der Sagittalebene — die Medianlocalisation — kann von dem Intensitätsverhältnisse — nicht beider Ohren, aber demjenigen zwischen einem vorn und einem hinten erzeugten Schalle unter Umständen mit Nutzen Gebrauch machen,

¹⁾ J. v. Kries, Ueber das Erkennen der Schallrichtung. Zeitschr. für Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane, Bd. I, 1890.

nämlich dann, wenn die Qualität des Schalles bekannt ist, wenn man bereits gelernt hat, wie er von vorn und wie er von hinten klingt. Es kommen hier »geringe und schwer definirbare Modificationen des Schalles« in Betracht, die zu einer von v. Kries als mittelbare bezeichneten Localisation verhelfen können. Da von Preyer und seinen Schülern stets derselbe Schallgeber verwendet wurde, so konnte von den Beobachtern bald herausgefunden werden, wie derselbe an den verschiedenen Punkten klingt, und das Gedächtniss konnte der Bestimmung der Richtung zu Hülfe kommen. v. Kries griff desshalb bei seinen Versuchen zu verschiedenen Schallquellen und variierte den Klang derselben ferner noch durch Aenderung der Schallintensität und der Entfernung. Ausserdem beschränkten sich die Urtheile auf die Erkennung bloss zweier noch dazu weit auseinanderliegender Richtungen, etwa vorn und hinten, vorn oben und vorn unten, die überdies dem Beobachter zum voraus bekannt gegeben wurden. Er hatte also nur auszusagen, ob der Schall z. B. vorn oder hinten entstand.

Recht mangelhaft war diese Art der Medianlocalisation, wenn als Prüfungsschall der Knall eines Telephones diente, der durch Oeffnungs- und Schliessungsinductionsschläge 20 cm oder auch nur über 1 cm vom Kopfe entfernt erzeugt wurde. Die Richtungen o. und u., beide etwas nach vorn gelegen, wurden etwas besser unterschieden in Versuchen, in welchen der Ton einer Pfeife als Schall diente.

Auch die Unterscheidung zwischen hinten und oben war ziemlich mangelhaft. Hier wurde das Zusammenklappen zweier Münzen als Erregungsmittel gebraucht. Unter dem Einflusse der Uebung und bei Anwendung anderer Reize wurden später bessere Resultate erzielt. Ebenso wurde besser localisirt in Versuchsreihen, wo durch grössere Abwechslung in den Schallgebern die Localisation eher schwieriger zu werden versprach; besser namentlich dann, wenn statt eines momentanen ein etwas länger dauerndes Geräusch erzeugt wurde. Dieselbe Erfahrung wurde für die Höhenlocalisation (o—u) gemacht.

Immerhin lehren alle diese Versuche, dass wir die Fähigkeit einer, wenn auch nicht eben zuverlässigen Medianlocalisation besitzen.

Auch Versuche an einer grösseren Anzahl verschiedener ungeübter Beobachter, deren jeder nur ganz wenige Urtheile abzugeben hatte, führten v. Kries zu nicht gerade günstigen Ergebnissen. Unter 111 Urtheilen zwischen v. und h. waren hier, wo der Einfluss der Uebung eliminirt war, nur 47 zutreffend, und nur eine einzige von 22 Personen urtheilte fast stets richtig. Wurden in ganz kurzen Intervallen die

beiden von einander zu differenzirenden Schallreize gesetzt, so war die Beurtheilung sofort eine durchaus sichere, wo vorher die Erkennung des Entstehungsortes eines einzelnen Schalles ganz mangelhaft gewesen war.

v. Kries' Versuche bestätigen ferner die Preyer'sche Beobachtung, dass gewisse constante Tendenzen zu bestimmten Irrthümern der Localisation bestehen. Vorn wird vielfach beharrlich nach hinten verlegt oder umgekehrt, auf Kopfhöhe oder tiefer befindliche Schallquellen mit Vorliebe nach oben.

Sie zeigen weiter, dass auch bei unregelmässiger Variirung der Schallreize unter Umständen eine gute Medianlocalisation stattfinden kann, unter anderen eine höchst unsichere. Die Deutung ist schwierig. Nimmt man mit Preyer ein besonderes Organ für die Schalllocalisation an, so ist es befremdend, dass dasselbe so mangelhaft arbeitet. Glaubt man an eine mittelbare Localisation, so ist schwer zu begreifen, wie sie auch unter stets wechselnder Schallbeschaffenheit noch möglich ist. Immerhin ist v. Kries geneigt, selbst wenn ein physiologisches Hilfsmittel der Localisation existirt, dennoch der Qualität und der Intensität des Schalles einen gewissen Werth beizumessen.

Wie genau geringe Qualitätsdifferenzen des Schalles erkannt werden, lehren auch Versuche über die Wahrnehmung der Entfernung einer Schallquelle. Wurde ein Telephonknall einmal in 25 cm und gleich darauf in 65 cm Entfernung seitlich vom Kopfe und mit unregelmässig variirender Intensität geprüft, so wurde mit grosser Regelmässigkeit der nähere vom entfernteren unterschieden, selbst wenn der erstere leiser war. Aehnlich verhielt es sich bei der Prüfung zweier anderer Knalle, die durch Zusammenklappen von zwei Holzplättchen entstanden und deren näherer 20--40, deren entfernterer 100--140 cm Abstand vom Beobachter erhalten hatte. Die Intensität des Schalles konnte hierbei niemals zu einem Irrthum verleiten. Hier liefert weder das Princip der Intensitätsvergleichung, noch die Preyer'sche oder Münsterberg'sche Theorie eine Erklärung; man muss wohl auf eine mittelbare Localisation recurriren. Auf alle Fälle zeigen diese Versuche, dass die Frage der Schalllocalisation noch nicht endgültig gelöst ist.

Gegen die Münsterberg'sche Anschauungsweise spricht auch die Thatsache, dass wir zwei Schalle aus verschiedenen Richtungen gleichzeitig localisiren können. Dieser Anschauungsweise zufolge müssten die beiden Bewegungsimpulse nach den zwei Schallgebern hin

entweder zu einem einheitlichen verschmelzen oder aber unter sich verwechselt werden können. In dieser Richtung angestellte Versuche bewiesen, dass beides nicht der Fall zu sein braucht. Bläst man rechts und links vom Beobachter zwei Pfeifen von gleicher Stärke aber ungleicher Höhe an, so gelingt es nach einiger Uebung, die beiden Töne richtig zu localisiren. Noch leichter werden ein Pfeifenton und ein gleichzeitiges Geräusch, jedes an seinem richtigen Platze, erkannt. Für die Rechtslinkslocalisation giebt es also hier keine erheblichen Schwierigkeiten. Mangelhafter ist auch dabei wieder die mediane. Doch wurden Ton und Geräusch hinten oder beide vorn oder Ton hinten, Geräusch vorn richtig localisirt. Nur wenn sich das Geräusch hinten, der Pfeifenton aber vorn befand, so wurde auch der letztere mit dem Geräusche nach hinten verlegt. Das Geräusch störte also die Localisation des vorn erzeugten Tones.

Noch von einer anderen Seite sind neuerdings schwerwiegende Einwände gegen die Preyer'sche Theorie der Schalllocalisation erhoben worden, Einwände, welche anscheinend diese Lehre in ihren Grundvesten wanken machen. J. Breuer¹⁾ stellt, um mit minder Wichtigem zu beginnen, es noch als eine offene Frage hin, ob die Fische wirklich in unserem Sinne hören. Preyer war, wie mitgetheilt, davon ausgegangen, dass er dieser Thierclassen Gehörwahrnehmungen zuerkannte, obgleich sie nur die Bogengänge, nicht aber die Schnecke besitzt. Nun wohl, sagt Breuer, »die Fische haben keine Schnecke, womit hören sie? Aber — hören sie? Sie percipiren sicher Schwingungen, aber ob sie in unserem Sinne hören, oder ob sie die Schwingungen tasten, wie Taubstumme es thun, das ist mir zweifelhaft.«

Ein, wie es scheint, unabweisbarer Einwand gegen die Preyer'sche Theorie liegt in folgender Ueberlegung Breuer's. Die durch die Luftleitung das Ohr treffenden Schallwellen gelangen alle in ziemlich oder genau gleicher Richtung durch den Gehörgang zum Trommelfell und sicher in der gleichen durch die Kette der Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster. Wie soll nun die ursprüngliche Richtung der Schallstrahlen von den verschiedenen Bogengängen wieder ausgesondert werden? Es ist unerfindlich, mit welchen Hülfsmitteln dies geschehen könnte. Man müsste also annehmen, dass die Richtungserkennung durch die Halbcirkelecanäle nur auf Grund der Knochenleitung allein zu Stande

¹⁾ J. Breuer, Ueber die Function der Otolithenapparate. Pflüger's Archiv 1891, Bd. XLVIII, S. 195 ff.

käme. Allein diese Annahme macht Preyer nicht. Er zeigt (ebenso auch Arnheim), dass nach Ausschluss der ersteren, nach Luftabschluss eines oder beider Gehörgänge, die Localisation sofort an Sicherheit viel einbüsst. Und selbst für die Knochenleitung lässt sich nicht behaupten oder ist zum mindesten nicht erwiesen, dass die Kopfoberfläche treffende Schallwellen ihre Richtung unverändert bis zu den Bogengängen beibehalten. Es ist ferner die Voraussetzung Preyer's noch unerwiesen, dass die Fortleitung der Schallwellen ausschliesslich oder vorwiegend dann auf einen bestimmten Bogengang statthat, wenn letztere parallel zu dessen Ebene auftreten. Es ist ferner fraglich, ob die Wellen im Schädel überhaupt nur in einer Richtung und nicht vielmehr allseitig fortgeleitet werden, fraglich, ob nicht der Bewegungsanstoß auf die Endolympe der Canäle stärker ist, wenn er senkrecht, als wenn er parallel zu ihrer Ebene anlangt.

Ganz die gleichen schwerwiegenden Bedenken fallen auch auf die Anschauungen Münsterberg's, sofern sie physikalisch und physiologisch mit der Preyer'schen Theorie sich decken (Breuer a. a. O. Fussnote S. 302).

II.

Ueberblickt man alle diese theils übereinstimmenden, grösserentheils sich widersprechenden und einander ausschliessenden Angaben über die wichtigsten Beziehungen des binauralen Hörens, so muss wohl zugegeben werden, dass das Eingangs gefällte Urtheil begründet ist. Die meisten berührten Verhältnisse verlangen nach einer — nein, nach wiederholten, von verschiedenen Beobachtern aufzunehmenden Untersuchungen. Sei es auch nur, um bestätigt zu finden, was an wichtigen Resultaten erst von Wenigen in durchweg mühevollen, an die Aufmerksamkeit des Beobachters die höchsten Anforderungen stellenden Experimentalreihen errungen worden.

Ich habe verschiedene Punkte der Lehre vom binauralen Hören im physiologischen Institute der hiesigen Hochschule nachuntersucht und bin dem Director dieser Anstalt, Herrn Prof. v. Kries, für die gütigst ertheilte Erlaubniss zur Benutzung der Hilfsmittel derselben zu lebhaftem Danke verpflichtet.

Meine ersten Versuche beziehen sich auf die Beobachtung des hier oben zuerst geschilderten Le Roux'schen Phänomens der Steigerung einer Tonempfindung bei binauraler Zuleitung.

Wie erwähnt, ist diese auffallende Erscheinung bereits von Urbantschitsch (Ueber die Wechselwirkung etc., s. S. 28) nachgeprüft worden. Der Grundversuch ist leicht anzustellen: man schlägt zwei unisone Stimmgabeln an und hält je eine vor jedes Ohr. Der Ton wird in einer ganz ausserordentlichen Fülle und Stärke empfunden, und man begreift, wie Le Roux sagen kann: »J'ai en quelque sorte la tête rempli d'un volume considérable de son.« Hält man beide Gabeln vor dasselbe Ohr, so ist die Tonempfindung unvergleichlich schwächer, man möchte sagen: dünner. Hält man zunächst nur eine Stimmgabel vor ein Ohr und nähert sodann die zweite dem anderen, so wächst zuerst die Empfindung des ersten, während gleichzeitig eine schwächere auf dem zweiten Ohre auftaucht. Rückt die Tonquelle diesem letzteren immer näher, bis die beiderseitige Intensität ungefähr gleich ist, so hört man nicht mehr in den Ohren, sondern im Innern des Kopfes — es hat sich ein subjectives Hörfeld gebildet, der Kopf scheint thatsächlich von einer mächtigen Tonfluth erfüllt zu sein. Man kann auch den beiden Stimmgabeln solche Stellungen anweisen, dass die eine, dem Ohre ganz nahe befindliche, die entferntere übertönt, dass das zweite Ohr »physiologisch taub« wird. Manche Personen, besonders Ohrenkranke, geben bei Anstellung des Versuches auch nur an, dass der Ton im ersten Ohre stärker wird, wenn man dem andern die zweite Stimmgabel nähert. Aber trotz dieser »physiologischen Taubheit« des zweiten Ohres ist dieses an der betreffenden Tonwahrnehmung unmittelbar betheiligt, und man könnte füglich ebensogut beide Ohren physiologisch taub nennen in dem Augenblicke, in welchem beide Stimmgabeln gleich nahe und dicht vor beiden Gehörgängen stehen und das subjective Hörfeld allein wahrgenommen wird.

Es ist zur Verstärkung der Klangempfindung nicht erforderlich, dass die Stimmgabeln absolut unison sind. Ich finde wenigstens keinen Unterschied in der binotischen Schallstärke, wenn dieselben einige Schwebungen in der Secunde machen. Indessen bemerkt man doch, dass diese Verstärkung in einem umgekehrten Verhältnisse zu dem Intervall beider Gabeln steht. Sie ist schon merklich geringer, wenn ich den Versuch mit einer a_1 Appunn von 435 Schw. p. Sec. und einer a_{is_1} App. von 460,87 Schw. anstelle, noch schwächer bei a_1 und h_1 App. (= 488,27 Schw. p. Sec.). Bei a_1 mit d_2 App. (= 580,66 Schw. p. Sec.) kann ich keine nennenswerthe Verstärkung mehr wahrnehmen. Ebensowenig kann ich eine erhebliche Steigerung der Empfindungsintensität zugeben, wenn ich einen Ton und ein Geräusch,

jedes vor einem Ohre, erschallen lasse. Wohl aber ist (mit Urbantschitsch) eine merkliche leicht zu constatiren. Sowohl ein mässig lautes als ein erlöschend leises Uhrlicken vor dem einen Ohre wird ein wenig stärker, wenn sich vor dem andern eine schwingende Stimmgabel befindet. Dagegen verstärken sich unisone Geräusche wieder in enormem Maasse

Die bequemste, wenigstens für den Ohrenarzt nächstliegende Anordnung, unisone Geräusche binotisch zu hören, besteht in der Anwendung eines binauralen Oscopes, etwa beim Gebrauche des Ohrkatheters. Auscultirt man zunächst nur mit dem einen Ende des gegabelten Schlauches, also monaural, sagen wir ein Perforationsgeräusch, und bringt dann das zweite Ende in das andere Ohr — während selbstverständlich das dritte im Gehörgange des Kranken steckt — so ist man geradezu frappirt von der bedeutenden Steigerung der Schallempfindung.

Unter Umständen lässt sich die Verschärfung wohl diagnostisch verwerthen, wenn es gilt, ganz leise Geräusche, etwa schwache Nachgeräusche, noch zu hören, die man bei Anwendung des üblichen monauralen Oscopes nicht mehr deutlich wahrnimmt. Nützlich ist das Instrument auch solchen Untersuchern, welche selbst an einer Verminderung des Hörvermögens leiden. Ausserdem bietet das binaurale Otophon den weiteren Vortheil, alle die Geräusche abzublenzen, welche z. B. beim Katheterisiren ausserhalb der Tuba und Paukenhöhle entstehen (im Rachen, Katheterverbindung u. s. w.). Denn dadurch, dass diese Geräusche in das sonst unbewaffnete zweite Ohr des Untersuchenden gelangen, beeinträchtigen sie unsere Beobachtung.

Nach dieser kleinen Abschweifung auf das Gebiet der practischen Otologie kehren wir zu dem Le Roux'schen Phänomen zurück.

Am schönsten lässt sich dasselbe studiren, wenn man mittelst v. Kries' elektrischer Sirene einen beliebigen Ton in zwei Telephonen erzeugt. Dieses Instrument (vergl. J. v. Kries, Ueber die Erregung motorischer Nerven durch Wechselströme. Ber. über die Verh. der naturf. Ges. zu Freiburg i. B., VIII, 2, wo dasselbe andeutungsweise beschrieben ist) besteht zunächst aus einer Messingscheibe, welche sich um eine verticale Axe dreht. An der Peripherie der Scheibe sind 30 Eisenstücke derart glatt eingefügt, dass stets ein gleich breites Stück Messing mit einem solchen aus Eisen abwechselt. Unterhalb dieses Randes befindet sich das Ende eines Magneten und senkrecht über jenem eine Inductionsspirale. Die Messingscheibe mit den Eisen-

einlagen kann durch eine kleine Turbine in beliebig rasche Umdrehung versetzt werden. So oft nun das durch die Turbine bewegte, durch eine Schnur mit der Messingscheibe verbundene Schwungrad eine Umdrehung macht, kommt 90mal ein Eisenzahn über den Magneten und unter die Inductionsrolle zu stehen. Ebenso oft entsteht und verschwindet also in letzterer ein electrischer Strom, welcher zu den in einem entfernten Raume befindlichen Siemens'schen Telephonen geleitet wird. Die Telephonplatten vollziehen natürlich so viele Schwingungen in der Secunde, als Stromstösse in ihren Magneten gelangen. Auf diese Weise erhält man zwei absolut unisone Töne von beliebiger Dauer und Höhe. Und bei jeder Höhe kann man die Le Roux'sche Erscheinung beobachten, wenn man die beiden Telephone gleichzeitig vor die Ohren hält.

Mit dieser nämlichen Versuchseinrichtung sind auch die endocephalen Localisationerscheinungen leichter zu beobachten als mittelst Stimmgabeln.

Zunächst ist unschwer festzustellen, dass bei wechselnder Intensität der Ton nach derjenigen Kopfhälfte zu wandern scheint, an der das lauter tönende Telephon sich befindet. Ausserdem aber ist, worauf auch Thompson und Urbantschitsch hinweisen, der Sitz des »akustischen Bildes«, die Lage des »subjectiven Hörfeldes« je nachdem verschieden. U. fand dasselbe bei verschiedenen Personen und für verschiedene Töne an wechselnden Stellen; Th. ermittelte, dass es je nach dem Phasenverhältnisse zwischen beiden Telephonen entweder »im Kopfe« oder in den Ohren oder theilweise in beiden Orten zugleich lag. Eine theilweise Phasenverschiebung zwischen den beiden Tonquellen herzustellen gelang nicht. Wohl aber konnte man nach Belieben die Phasen in einem der beiden Telephone vollständig umkehren mit Hilfe eines in dessen Leitung eingeschalteten Commutators. Und nun wurde untersucht, ob die Qualität der Gehörempfindung oder die Lage des subjectiven Hörfeldes bei einer solchen Umkehrung eine Aenderung erlitten. Letzteres war ja von Thompson bereits ausgesprochen. Es stellte sich heraus, dass bei einer gewissen Richtung des Stromes in dem mit dem Umschalter verbundenen Telephone die Qualität des (binauralen) Tones sich allerdings etwas änderte. Verschiedene Beobachter ausser mir selbst konnten das constatiren. Der Ton klang nämlich bei der einen Richtung rauher, gleichsam leicht näselnd, dagegen wenn die Stromrichtung in dem einen der beiden Telephone der vorhergegangenen entgegengesetzt war, reiner, sonorer, glatter, angenehmer.

Nun galt es zu ermitteln, bei welcher Stromrichtung das eine, bei

welcher das andere geschah. Zu diesem Zwecke wurde auf die Platte eines jeden Telephons ein langer Zeiger aus Aluminium aufgeklebt und mit Hilfe des Mikroskopes festgestellt, in welcher Richtung sich die Platte bewegte, wenn ein constanter Strom in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung durch das betreffende Telephon geleitet wurde. Hierauf wurden die Leitungen, welche von der electricen Sirene zu den Telephonen führen, so gekennzeichnet, dass man jederzeit sehen konnte, ob die beiden Platten sich in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung bewegten bei einer bestimmten Stellung des Commutators.

Bewegten sich die Telephonplatten in gleichen Phasen, d. h. näherten sie sich gleichzeitig dem Trommelfelle der betreffenden Seite, so hörte ich den Ton vorn im Kopfe, in der Stirn, und jetzt hatte er den sonoren Charakter.

Verliefen die Schwingungen in entgegengesetzten Phasen, d. h. kam die Platte des einen Telephons dem betreffenden Ohre näher, während auf der gegenüberliegenden Kopfseite sich die andere von ihrem Ohr entfernte, von ihrem Magneten angezogen wurde, so hörte ich den Ton in der Tiefe des Kopfes, etwa zwischen beiden Ohren, und er war rauher, schnarrender.

Die Aenderung der Qualität wird aber nicht bei allen Tonlagen von mir wahrgenommen. Bei den tiefen Tönen unter c ($= 128$ Schw.) vielleicht darum nicht, weil dieselben sehr leise werden; aber die Verlegung des subjectiven Hörfeldes wird deutlich erkannt. Bei c_1 ($= 256$ Schw.) ist die Qualitätsänderung mit der Phasenumkehrung schon merklich. Bei einem Tone über c_2 , vielleicht e_2 ($= 660$ Schw.) wird sie ebenfalls noch erkannt. Bei höheren Tönen, z. B. b_2 , jenseits 900 Schw. kann ich den Qualitätsunterschied nicht mehr gut heraushören.

Dagegen bleibt für alle untersuchten Tonhöhen bis gegen 2000 Schw. per Sec., also bis an die viergestrichene Octave, die Fähigkeit bestehen, mittelst der Empfindung der Lage des subjectiven Hörfeldes anzugeben, ob die beiden Telephone in gleichen oder in entgegengesetzten Phasen schwingen. Im ersteren Falle wird constant der Ton im Vorderkopf, im andern in oder hinter der Mitte des Kopfes empfunden.

Indessen ist auch für die geeignetsten mittleren Tonlagen die Fähigkeit dieser Unterscheidung keine absolute. So gar erheblich ist dieser Unterschied zwischen den beiden binauralen Wahrnehmungen eben nicht. Doch wurde, wenn ich mit geschlossenen Augen horchte, während eine zweite Person in mir unbekanntem Wechsel den Commutator handhabte, gleich in einem der ersten Protocolle notirt:

unter 32 Urtheilen, je 16 mal gleiche resp. entgegengesetzte Phasen, waren übereinstimmend:

a) gleiche Phasen: 11 mal Stirn (4 mal Kopf, 1 unentschieden),

b) entgegengesetzte Phasen: 12 mal Kopf (4 mal Stirn),

also eine erhebliche Zahl einsinniger Bestimmungen.

In einer späteren Reihe von 80 Beurtheilungen der Lage des subjectiven Hörfeldes für c_1 (= 256 Schw.) wurde in 75 % resp. 77,5 % nach der Empfindung desselben richtig angegeben, welches die jeweilige Stellung des Commutators war, ob also die Phasen gleich oder entgegengesetzt liefen. Mit zunehmender Uebung wurden meine Aussagen noch genauer. In einer nacheinander ausgeführten Reihe von 200 Versuchen, 100 für jede Richtung, wurde in 86 % über die eine, in 85 % über die andere zutreffend geurtheilt, und als ich, bevor ich diese Art Versuche abschloss, noch eine letzte Reihe an mir selbst ausführen liess, konnte ich unter 100 Proben 92 mal richtig mit geschlossenen Augen aus der Lage des subjectiven Hörfeldes die Stellung des Commutators angeben. Hier muss also das Spiel des Zufalls vollkommen ausgeschlossen sein.

Und dass es nicht einmal stets einer längeren Einübung bedarf, um den fraglichen Unterschied herauszufinden, das lehrt eine Versuchsreihe mit einem anderen Beobachter, Herrn Dr. med. F., 23 Jahre alt. Es war der erste Versuch dieser Art, welchem sich derselbe unterzog. Die Tonhöhe der Telephone war um 300 Schw., zwischen d_1 und e_1 . Es wurden nacheinander 6 Bestimmungsreihen von je 20 Urtheilen ausgeführt, natürlich wie immer in unregelmässigem Wechsel. Die hier folgenden Protocollabschlüsse lassen erkennen, wie rasch die Orientirung eintrat.

I. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . . .	{	7 mal Stirn,
			2 mal Kopf,
			1 mal unbestimmbar.
	10 mal entgegenges. Phasen	{	7 mal Kopf,
			3 mal Stirn.
II. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . . .	{	7 mal Stirn,
			3 mal Kopf.
	10 mal entgegenges. Phasen	{	5 mal Kopf,
			5 mal Stirn.
III. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . . .	{	7 mal Stirn,
			3 mal Kopf.
	10 mal entgegenges. Phasen	{	9 mal Kopf,
			1 mal Stirn.

IV. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . .	}	10 mal Stirn,
			0 Kopf.
	10 mal entgegenges. Phasen	}	9 mal Kopf,
			1 mal Stirn.
V. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . .	}	10 mal Stirn,
			0 Kopf.
	10 mal entgegenges. Phasen	}	8 mal Kopf,
			2 mal Stirn.
VI. Reihe.	10 mal gleiche Phasen . .	}	10 mal Stirn,
			0 Kopf,
	10 mal entgegenges. Phasen	}	8 mal Kopf,
			2 mal Stirn.

Es wurde also bei 60 Versuchen mit gleichgerichteten Phasen 51 mal (85 %) das Tonbild nach der Stirn verlegt, bei ebenso vielen mit entgegengesetzten Phasen 46 mal (77 %) in die Tiefe des Kopfes. Ähnliche, wenn auch nicht ganz so günstige Ziffern lieferten auch die ersten Versuche mit zwei anderen, jüngeren Beobachtern.

So sicher nun aber für mich die Thatsache besteht, dass die Lage des subjectiven Hörfeldes je nach dem Phasenverhältnisse der beiden unisonen Töne wechselt, so ist doch ganz und gar unentschieden die Frage:

Wie ist diese eigenthümliche Erscheinung zu deuten?

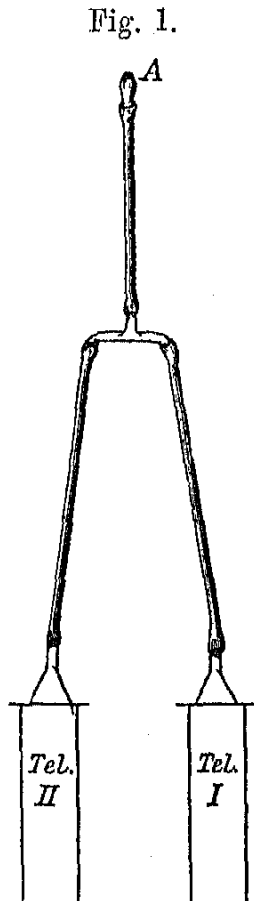
Und wie ist der Qualitätsunterschied zu erklären, der bei einer Reihe von Tönen mit diesem Phasenwechsel verknüpft erscheint?

Dieses letztere scheint noch das relativ leichtere Räthsel zu sein.

Treffen wir die in Fig. 1 schematisch skizzierte Versuchsanordnung. Telephon I und Telephon II sind nebeneinander geschaltet, indem jeder der beiden Leitungsdrähte von der Sirene sich zweitheilt, um gleichzeitig zu beiden Telephonen zu gelangen, zu dem einen direct, zum andern, Telephon II, auf dem Umwege durch den Commutator. Auf die Hörfläche der Telephone sind gleiche Glastrichter aufgesetzt, deren Röhren durch die gleich langen Schenkel eines T-Schlauches bei A mit einem Ohre verbunden sind. Auscultirt man nun monotonisch bei gleichen Phasen der Telefonschwingungen, so hört man den durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Sirene bedingten Ton. Werden jetzt durch Umlegung des Commutators die Phasen in beiden Telephonplatten einander entgegengesetzt, so verschwindet mehr oder weniger der soeben gehörte Grundton, und an seine Stelle treten die entsprechenden nächsten Obertöne. Auf dem Wege durch den T-Schlauch hat das Zusammenreffen von Wellenberg des einen mit Wellenthal des andern Telephon-

tonstrahles den Grundton ausgelöscht. Drückt man den Schlauch des Telephon I zusammen, so verschwindet selbstverständlich diese Interferenzerscheinung, und man hört wieder den Grundton aus Telephon II, unabhängig von der Stellung seines Commutators.

Beim binotischen Hören, wo je ein Telephon mit je einem Ohre verbunden ist, tritt dieses Auslöschen des Grundtones zwar nicht ein, dafür aber die Aenderung der Qualität. Der weiche, sonore Klangcharakter wandelt sich in den weniger angenehmen, schärferen um, wenn die Phasen entgegengesetzt sind. Eine Vermischung beider Tonwellenzüge tritt freilich auch hier ein; das beweist die Entstehung von Schwebungen bei nicht ganz unisonen Tönen, die getrennt zugeleitet sind (Thompson). Aber die Auslöschung unterbleibt, weil, bevor sie möglich wird, der Ton auf jeder Seite schon den Hörnerven erregt hat. Die gegenseitige Beeinflussung der in entgegengesetzten Wellenformen den Kopf und seine lufthaltigen Räume durchfluthenden Töne macht sich aber gleichwohl für die Empfindung bemerklich.



Für die Beantwortung der anderen Frage, wie die Lageänderung des subjectiven Hörfeldes zu Stande kommt, habe ich dagegen kaum eine Vermuthung. Sollte vielleicht die Anwesenheit der vielgestaltigen luftführenden Räume im Vorderkopf und Gesichtschädel von Bedeutung für dieselbe sein? Sollten, bei entgegengesetzten Phasen, auch hier Interferenz-

erscheinungen an Grundton und Obertönen mitspielen? Ich weiss vorerst keinen Weg, der zur Aufhellung dieser dunklen und verwickelten Verhältnisse führte.

Bevor wir dieses Capitel verlassen, wünsche ich noch auf zwei hierher gehörige Punkte einzugehen, deren einer von principieller Wichtigkeit ist, während dem anderen vielleicht einige practische Bedeutung innewohnt.

Zunächst der allgemeinere: wie ist der erhebliche Intensitätszuwachs beim binauralen Hören insbesondere unisoner Töne und Geräusche zu verstehen? Handelt es sich um eine einfache Addition der beiden monauralen Gehöreindrücke oder tritt ausserdem noch ein weiteres empfindungsteigerndes Moment hinzu? Le Roux ist geneigt, das

Letztere anzunehmen, die beiderseitige Empfindung gleichsam in's Quadrat zu erheben. Auch Urbantschitsch vertritt (a. a. O.) die Ansicht, dass die Erregung eines Ohres verstärkend auf die Reizempfindlichkeit des andern einwirkt und stützt dieselbe durch ähnlich gerichtete Versuche an den anderen Sinnesorganen.

In der That, wenn man die Intensität der Tonempfindung bei monauralem und bei binauralem Hören eines Stimmgabel- oder Telephontones oder eines Geräusches vergleicht, kann man nur schwer glauben, dass hier lediglich eine Summirung der beiderseitigen Wahrnehmung vorliegt. Aber eine solche Schätzung enthält doch immerhin ein willkürliches Moment, um welches sich rechten lässt. Entscheidend für die Ansicht der beiden genannten Autoren scheint aber folgende Ueberlegung zu sein. Wir kehren zu dem früher (S. 28) beschriebenen Versuche Urbantschitsch's zurück (Ueber das An- und Abklingen unbewusster akustischer Empfindungen). Wird in demselben blos mit dem r. Schlauche das Uhr-ticken auscultirt, während der l. geschlossen ist, so hört man es deutlich aber schwach im r. Ohr. Wird der r. Schlauch geschlossen und der l. offen gelassen, der von der Uhr weiter entfernt ist, so hört man jetzt ihren Gang nicht. (Ich habe später nochmals auf diesen Versuch zurückzugreifen und muss seinen Verlauf dann etwas anders beschreiben; für den gegenwärtigen Zweck ist indess die Angabe U.'s genügend.) Horcht man aber binaural, so vernimmt man das Uhr-ticken im Innern des Kopfes, als subjectives Hörfeld. Münsterberg folgert hieraus allerdings, dass dieses sich combinire aus der Schall- plus Richtungs-empfindung rechts (Schnecke plus Bogengang) und der Richtungs-empfindung (Bogengang) allein auf der l. Seite. Indessen ist es doch kaum mehr angänglich, nach der mitgetheilten Breuer'schen Kritik die Bogengangtheorie noch zu behaupten, und ich glaube ausserdem weiterhin in überzeugender Weise darthun zu können, dass M. wenig Anlass hat, sich gerade auf diesen Versuch als auf eine Grundsäule seiner Anschauungsweise zu stützen. Nach Analogie zahlreicher anderer Beobachtungen dürfen wir vielmehr voraussetzen, dass überall, wo ein subjectives Hörfeld besteht, auch binaurale Gehörwahrnehmung statt hat. Blicke das l. Ohr unerregt, so wäre in unserem Versuche eine Schallempfindung r. zu 0 Schallempfindung l. zu addiren, und wir hätten dann blos die Tonempfindung im r. Ohre. Da aber bei binauraler Zuleitung das Uhr-ticken im Innern des Kopfes gehört wird, so muss in diesem Augenblicke auch l. eine Schallempfindung zugegen sein, und diese kann nur unter dem Einflusse der

rechtsseitigen über die Schwelle der Wahrnehmung gehoben worden sein.

Wir dürfen also mit U. annehmen, das binaurale Hören besitze vor dem monauralen den Vorzug, dass zu dem Reize der äusseren Schallquelle noch ein subjectiver vom Centrum aus hinzukommt, welcher die Empfindungsintensität steigern hilft.

Der andere Punkt, auf welchen ich hier noch mit ein paar Worten hinweisen möchte, liegt mehr auf otiatrischem Gebiete.

Wenn, woran nicht mehr zu zweifeln, bei binotischem Hören unmittelbar nahe am Kopfe befindlicher Schalle ein Empfindungszuwachs und ein subjectives Hörfeld entstehen, so kann man eine solche Probe verwerthen zur Erkennung einseitiger Taubheit.

Sind wir im Zweifel, ob auf einem Ohre noch eine Sinnesempfindung auszulösen ist, so werden wir zwei unisone Stimmgabeln und zwar Paare aus verschiedenen Octaven vor die Ohren halten und die vor dem zu prüfenden Ohre befindliche abwechselnd entfernen und wieder nähern. Tritt im letzteren Falle ein merklicher Intensitätszuwachs auf der besser hörenden Seite oder tritt eine Verlogung des Schalles in das Innere des Kopfes (nach der Seite des besseren Ohres) ein, so ist sicher auf der anscheinend tauben Seite noch einige Gehörempfindung erhalten. Verneinenden Falles dürfen wir wohl absolute Taubheit annehmen.

Hermann St., ein etwa 25jähriger Patient unserer Poliklinik, litt in seinem 3. Lebensjahre an Genickkrampf, bekam darauf einen doppelseitigen Ohrenfluss und will seither auf dem l. Ohre taub sein. Er hört mit dem rechten Ohre, wenn beide Stimmgabeln vor dasselbe gehalten werden, die Schwebungen zweier ungleicher c_1 , a_1 und c_3 Gabeln. Hält man vor jedes Ohr eine Gabel, so hört er die Schwebungen nicht. Er hört r. g_4 und u_7 gut, C nur vom Knochen, und erkennt richtig die höhere von zwei ungleichen c_4 -Gabeln. Beim binauralen Hören eines beliebigen Paares Stimmgabeln tritt keine Spur Verstärkung der rechtsseitigen Tonempfindung ein.

Jos. H., 14 J. alt, vor $\frac{3}{4}$ Jahren wegen Entzündung des r. Mittelohres mit Betheiligung des proc. mastoid. und mit Hirnsymptomen aufgemeisselt. Hört r. weder Uhr noch Stimme, weder C oder c_1 noch fis_4 . Localisirt bei geschlossenen Augen alle äusseren Schalle nach l., ebenso binaural zugeleitete C oder c_1 . Von beliebigen Stellen der Schädelfläche zugeleitete Töne ausschliesslich nach l. gehört. Keine binaurale Verstärkung von Stimmgabeltönen.

Herr A. B. von H., 62 J. alt (V. S. 1956 No. 9) giebt an, seit längerer Zeit l. taub zu sein. Trommelfell beiderseits trübe. G $\frac{(r.) 4,4 W}{(l.) 0}$,

auch andere hohe Töne rechts gut gehört, links gar nicht, tiefste dagegen beiderseits nicht. Flüstern $(v) \frac{(r.) 0}{(l.) 0}$. Katheter bringt r. sofort Besserung, so dass jetzt v nahe dem Ohre gehört wird, l. ganz ohne Einfluss. Binotische Anwendung verschiedener Stimmgabeln giebt keine Verstärkung der rechtsseitigen Empfindung.

Dieses Verfahren ist ebenso geeignet zur Erkennung einseitiger Hörsimulation. Man wird hier nur darauf achten müssen, die zur Prüfung dienenden Schallquellen von hinten her an die Ohren des zu Untersuchenden zu bringen, um ihm nicht ihre Lage durch optische Mittel zu verrathen. Wechselt man die Stellung der Schallquelle an der Seite des zweifelhaften Hörorgans mehrmals nacheinander, um den Zufall von den Angaben des Untersuchten auszuschliessen, so wird man leicht aus den letzteren ersehen, ob das betreffende Ohr noch functionirt oder nicht.

In Ermangelung einer Anzahl unisoner Stimmgabelpaare kann man die Probe auch mit einem binauralen Otoscop und einzelnen Gabeln ausführen. Man setzt dieselben auf das metallene oder gläserne T-Stück oder auf die Olive des unpaaren Schlauchendes auf und drückt unregelmässig abwechselnd einen der zu den Ohren führenden Schenkel geräuschlos zusammen. Auch hier steht bei der Prüfung von Hörsimulation der Untersucher wieder hinter dem Rücken des Patienten.

III.

Die wichtigste Function des binauralen Hörens ist die Erkennung der Schallrichtung. Manche Autoren behaupten geradezu, dass dasselbe unentbehrlich sei für eine genauere Localisation, aus den Versuchen anderer geht deutlich hervor, wie die Localisationsschärfe bei monauralem Hören sinkt.

Die eingehenden Untersuchungen über die Richtungsbeurtheilung von Preyer und seinen Schülern und von Münsterberg haben durch die von v. Kries erhobenen Bedenken und durch die kritischen Einwände Breuer's mindestens so viel an dogmatischer Bedeutung eingebüsst, dass eine Wiederholung derselben angezeigt erscheint. Ich habe sowohl den Münsterberg'schen ähnliche Versuche angestellt, als auch Localisationsurtheile über bestimmte Schallrichtungen abgeben lassen.

Ich berichte zunächst über die ersteren. Sie sind alle in einem Raume des hiesigen physiologischen Institutes angestellt, der 3,5 m

breit, 4,5 m lang und 4,67 m hoch ist. Auf die Mitte des Fussbodens wurde eine Kreislinie von 1 m Rad. gezeichnet und in 16 gleiche Theile von rund 39 cm Länge getheilt. In demselben sass bezw. lag in unbewegter Haltung, doch ohne besondere Fixation des Kopfes, der Beobachter so, dass der Mittelpunkt der Gehöraxe über dem Kreiscentrum sich befand. Als solcher diente in allen systematischen Versuchen dieser Gattung ein gegen 16 J. alter Secundaner von guter musikalischer Schulung und normaler Hörschärfe. Schallquelle war, wo nicht etwas Anderes angegeben ist, Politzer's Hörmesser (P H), bei welchem durch die stets gleiche Fallhöhe des Hammers auf den Stahlcylinder eine gewisse Gleichmässigkeit der Intensität und Qualität des Schalles gewährleistet ist. Stets wurde nur ein Schlag desselben an jeder zu prüfenden Stelle abgegeben. Die erste systematische Bestimmung der binauralen Verschiebungsgrösse im Horizontalkreise war mit einem einmaligen kurzen knackenden Geräusche ausgeführt worden, welches durch das Herabschnellen einer Metallfeder von einem Zahn eines kleinen Rades auf den nächsten bei Drehung desselben erzeugt wird. Zahnrاد und Feder befinden sich in einem kleinen länglichen Metallgehäuse, das man bequem in der Hohlhand bergen kann. Das Rad wird dann mit dem Daumen um je einen Zahn fortgedreht. Das knackende Geräusch ist erheblich lauter, tiefer und auch ungleichmässiger als der Klang des P H und wurde desshalb bald mit diesem vertauscht.

Behufs Messung der Strecken, um welche die Schallquelle auf der Kreislinie verschoben wurde, war an einer auf letzterer senkrecht stehenden Holzleiste ein Metermaassstab in Kopfhöhe des Beobachters horizontal befestigt. Wurden Bestimmungen im Sehbereiche des Beobachters ausgeführt, so musste dieser natürlich die Augen geschlossen halten. Seine Aufgabe war stets die gleiche: auszusagen, nach welcher Seite der betreffenden Kreismarke die Schallquelle bewegt worden war, die zwei Klangreize abgegeben hatte. Wurde z. B. der erste Schlag des P H im Horizontalkreise 10 cm l. von 0^0 und, was jeweils nach etwa 1 bis 2 Secunden geschah, der zweite Schlag 10 cm nach r. von derselben Marke erzeugt — die Entfernung wurde nach beiden Seiten stets gleich gross genommen — und hatte der Beobachter richtig localisirt, so gab er sein Urtheil ab: »von links nach rechts« oder kurzweg: »nach rechts«.

In der Regel wurde mit kurzen Entfernungen begonnen und wurden diese immer grösser gewählt, so lange die Urtheile unrichtig lauteten,

bis eine Grenze erreicht war, an der stets richtig localisirt wurde, wo also unverändert die Verschiebung nach der einen wie nach der anderen Seite der Kreismarke der Wahrheit gemäss angegeben werden konnte.

Dabei begnügten wir uns aber nicht mit dem ersten richtigen Urtheile. Wieder und wieder wurde dasselbe für geringere und weitere Entfernungen gefordert, und erst wenn eine grössere Anzahl nacheinander für die eine wie für die entgegengesetzte Richtung zutreffend blieb, wurde die betreffende Centimeterzahl als der richtige Ausdruck der Localisationsschärfe angesehen.

Einzelne Kreise wurden verschiedene Male, zu verschiedenen Zeiten geprüft; die Zahl der Urtheile bei einer Prüfung für einen und denselben Kreispunkt betrug mitunter weit über 50. Eine Ermüdung des Beobachters war allerdings manchmal nicht zu verkennen, doch fand sich wiederholt, dass wenn wir nach continuirlicher Absolvirung eines Kreises wieder zum 0^0 (360^0) Punkt zurückgekehrt waren und diesen nochmals prüften, die Schärfe der Orientirung eher gestiegen war.

Für den Horizontalkreis war die Anordnung so getroffen, dass der Beobachter bequem auf einem Stuhle sass, dass vorn gegenüber seinen Augen 0^0 war, zu seiner Rechten 90^0 , gerade hinter ihm 180^0 — genau so, wie dies Münsterberg bei seinen Versuchen eingerichtet hatte. Die kleine Abweichung, dass wir die Localisation beiderseits der betreffenden Kreismarke, diese als Mitte der Strecke genommen, untersuchten, während M. sie als Endpunkt und Ausgangspunkt derselben nahm, diese geringfügige Aenderung kann der Vergleichbarkeit unserer Resultate unmöglich schaden.

Und nun bedauere ich, dass sofort meine ersten Befunde mit den hierher gehörigen dieses Forschers in einem Widerspruche stehen, der für mich einfach unlösbar ist. Während M. ermittelt, dass die Localisationsschärfe von 0^0 bis 180^0 stetig abnimmt, wie es allerdings seine Theorie erheischt, erhalte ich aus etwa 1200 Urtheilen eines Beobachters (>von a nach b< oder von >b nach a< oder >am gleichen Platze<) folgende Ziffern für den Horizontalkreis (binaural).

Beobachter: R. B. — Schallquelle P H.

Vorn	0^0	. . . . .	8 cm Verschiebungsgrösse.
	22,5 0	. . . . .	18 „ „
	45 0	. . . . .	28 „ „
	67,5 0	. . . . .	45 „ „

Rechts	90°	. . . . .	55 cm	Verschiebungsgrösse.
	112,5°	. . . . .	40 „	„
	135°	. . . . .	30 „	„
	157,5°	. . . . .	20 „	„
Hinten	180°	. . . . .	18 „	„
	202,5°	. . . . .	25 „	„
	225°	. . . . .	40 „	„
	247,5°	. . . . .	45 „	„
Links	270°	. . . . .	60 „	„
	292,5°	. . . . .	30 „	„
	315°	. . . . .	22 „	„
	337,5°	. . . . .	12 „	„

Man erkennt sofort aus dieser Tabelle, dass die Localisationsschärfe von vorn an nach beiden Seiten hin abnimmt, dass sie bei 90° resp. 270° ihren niedrigsten Werth erreicht und dass sie von da an wieder besser wird, um bei 180° ein zweites Maximum zu erreichen. Dass das letztere nicht ganz die Höhe des ersten bei 0° (vorn) erklimmt, ist leicht begreiflich; wir hören eben von vorn kommende Schalle überhaupt besser, fassen also auch geringe Klangdifferenzen feiner auf, die gerade bei diesen Versuchen eine gewisse Rolle spielen. Aber darauf kommt es hier zunächst nicht an. Die Zahlenreihe zeigt, dass die Localisationsschärfe von vorn nach hinten nicht stetig abnimmt, sondern von der Seite ab wieder wächst.

Dasselbe constatirten wir wiederholt an demselben Beobachter zu einer Zeit, die von derjenigen der vorstehenden Versuchsreihe um viele Wochen getrennt war. Nur je 45° grosse Strecken wurden bestimmt.

Schallquelle P H.

Vorn	0°	. . . . .	6 cm	Verschiebungsgrösse.
	45°	. . . . .	35 „	„
Rechts	90°	. . . . .	65 „	„
	135°	. . . . .	35 „	„
Hinten	180°	. . . . .	20 „	„
	225°	. . . . .	35 „	„
Links	270°	. . . . .	70 „	„
	315°	. . . . .	35 „	„

Auch jetzt das gleiche Ergebniss, vorn und hinten genauere, zu beiden Seiten schlechtere Localisation.

Und dass dieses Verhalten kein individuelles ist — ein zufälliges kann man es ohnehin nicht nennen — das zeigen die an anderen Beobachtern erhobenen Curven.

Beobachter: E. R., 17 J. — Schallquelle P H.

Vorn	0°	. . . . .	10 cm	Verschiebungsgrösse.
	45°	. . . . .	45 „	„
Rechts	90°	. . . . .	55 „	„
	135°	. . . . .	60 „	„
Hinten	180°	. . . . .	25 „	„
	225°	. . . . .	65 „	„
Links	270°	. . . . .	80 „	„
	315°	. . . . .	30 „	„

Wenn auch die symmetrischen Stellen beider Kreishälften nicht ganz gleich sind — und ich habe eine vollkommene Uebereinstimmung eigentlich nie angetroffen — so ist doch auch diese Curve in den Hauptpunkten den vorhergehenden congruent. Ebenso die folgende.

Beobachter: Dr. med. F., 23 J. alt. — Schallquelle P H.

Vorn	0°	. . . . .	3 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5°	. . . . .	12 „	„
	45°	. . . . .	24 „	„
	67,5°	. . . . .	80 „	„
Rechts	90°	. . . . .	60 „	„
	112,5°	. . . . .	50 „	„
	135°	. . . . .	30 „	„
	157,5°	. . . . .	16 „	„
Hinten	180°	. . . . .	10 „	„
	247,5°	. . . . .	40 „	„
Links	270°	. . . . .	60 „	„
	292,5°	. . . . .	50 „	„

Hier haben wir in der linken Hälfte nicht an allen Kreismarken geprüft. Wir wollten nur ermitteln, wo auf dieser Seite der Fernpunkt läge, der sich rechts schon bei 67,5°, statt wie sonst bei 90° eingestellt hatte. Links fanden wir ihn thatsächlich wieder an der erwarteten Stelle, bei 270°.

Die angeführten Beispiele dürften ausreichen, um die Form der binauralen Horizontalkreiscurve klarzulegen und dem Leser die Ueberzeugung zu befestigen, dass nicht die von Münsterberg gewonnene, sondern viel eher die unsrige allgemeingültig sei. Ein Einwand kann allerdings noch gegen dieselbe erhoben werden, dass sie nämlich nur für den hohen Klang des P H Geltung habe, nicht aber für Schalle mit tieferem Toncharakter. Wir sind aber in der glücklichen Lage, auch diesem zu begegnen. Wir besitzen eine aus einer sehr grossen Versuchreihe gesammelte Curve, die mittelst des angegebenen Instrumentes mit Feder und Zahnrad gewonnen wurde. Hier ist der Klang

erheblich tiefer — wenn das Rad rasch gedreht wird, ist das dabei entstehende Geräusch dem Froschquaken ähnlich, zu dessen Nachahmung das Spielzeug auch ursprünglich gedient hat.

Beobachter: R. B. — Schallquelle: künstl. Frosch.

Vorn	0°	. . . . .	6 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5°	. . . . .	14 „	„
	45°	. . . . .	25 „	„
	67,5°	. . . . .	28 „	„
Rechts	90°	. . . . .	30 „	„
	112,5°	. . . . .	40 „	„
	135°	. . . . .	30 „	„
	157,5°	. . . . .	21 „	„
Hinten	180°	. . . . .	12 „	„
	202,5°	. . . . .	21 „	„
	225°	. . . . .	30 „	„
	247,5°	. . . . .	60 „	„
Links	270°	. . . . .	30 „	„
	292,5°	. . . . .	28 „	„
	315°	. . . . .	20 „	„
	337,5°	. . . . .	10 „	„

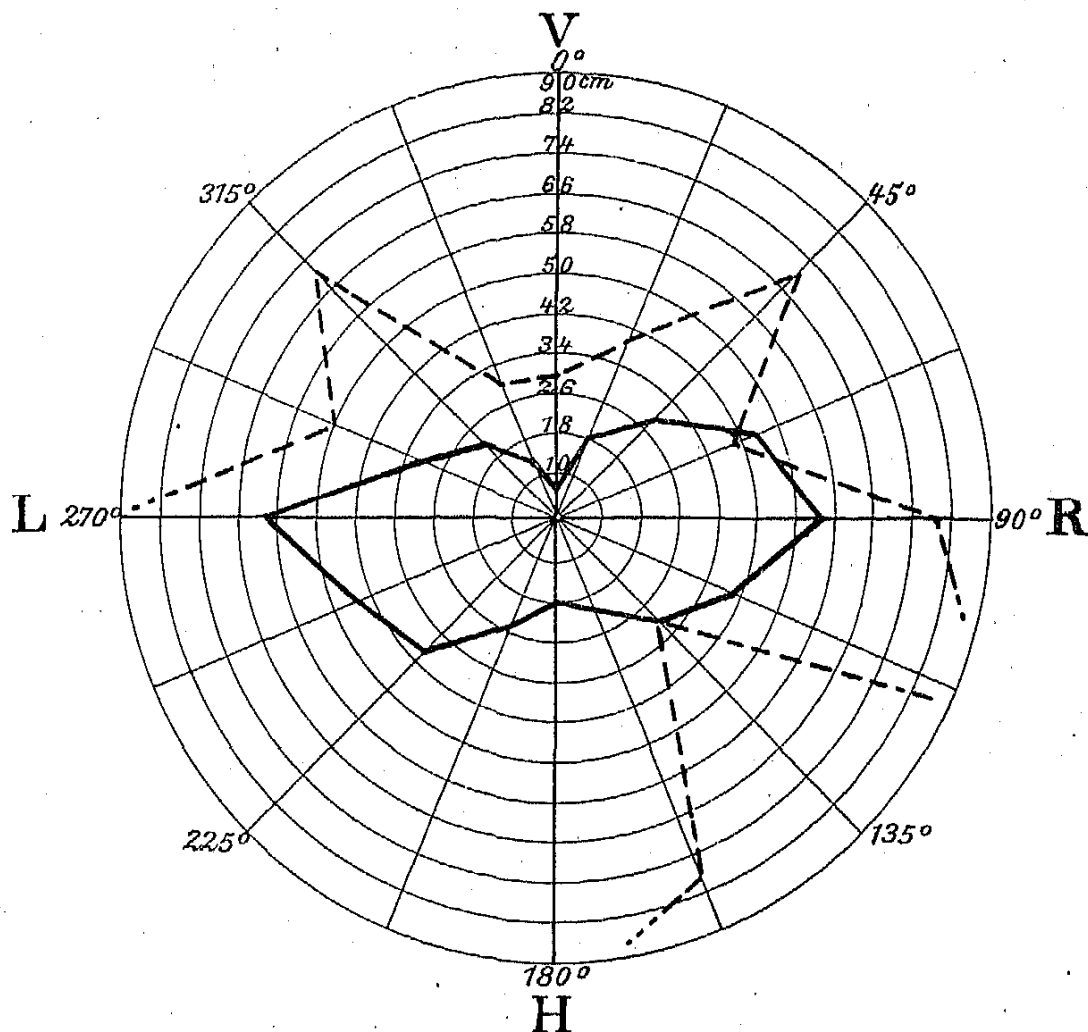
Derselbe Befund! Seitwärts, diesmal erst etwas nach hinten von 90° und 270°, die Stellen der geringsten Localisationschärfe, nach vorn und nach hinten dieselbe wachsend, um bei 0° und bei 180° ihre Nahepunkte zu erreichen.

Um die Form der Curve anschaulicher zu machen, habe ich es versucht, dieselbe graphisch darzustellen (Fig. 2). Die concentrischen Kreise bezeichnen für jede untersuchte Stelle (Radien) die Verschiebungsstrecken der Schallquelle (P H) in Centimetern, die ausgezogene Linie ist die oben (S. 55) zuerst mitgetheilte binaurale Curve. Denkt man sich die Münsterberg'schen Zahlen in ähnlicher Weise eingetragen, so erhält man statt dieser Schmetterlingsflügel- eine Kartenherzform.

Alle von uns erhobenen Curven sind in der Hauptsache mit der hier gezeichneten congruent, und diese wesentliche Uebereinstimmung aller Urtheilsreihen bürgt dafür, dass thatsächlich die Localisationschärfe bei 180° und dessen Umgebung wieder grösser ist als beidseits des Kopfes. Mit der Theorie von den Kopfbewegungsempfindungen stimmen die Zahlen allerdings nicht überein, desto besser aber mit jener, welche der Urheber derselben am weitesten abzuweisen geneigt ist, und welche die Schalllocalisation auf die Beurtheilung der beiderseitigen Empfindungsintensität basirt.

Die bis jetzt mitgetheilten Beobachtungen beziehen sich ausschliesslich auf das binaurale Erkennen der Schallrichtung. Um zu erfahren, wie weit die Localisationsschärfe auf einem Ohre reicht, wurde das andere, bei unseren Versuchen das linke, dicht verschlossen. Dass eine etwaige cranio-tympanale Leitung im gewöhnlichen Sinne zu demselben die Hörschärfe nicht merklich beeinflusste, erkannte man,

Fig. 2



Horizontal-Kreis: — binaural; ---- monaural; P H.

wenn auch noch das zweite verlegt wurde: jetzt ward der Schlag des P H überhaupt nicht mehr wahrgenommen. Im Uebrigen war an der Versuchsanordnung nichts geändert. Die punktirte Linie in Fig. 2 giebt die gefundenen Werthe wieder. Die vordere Hälfte der Curve enthält immer noch eine gewisse Uebereinstimmung mit der Gestalt der binauralen, aber die Schärfe der Localisation hat erheblich abgenommen. Im gesammten linken hinteren Quadranten übersteigt sie 1 m, doch

auch r., auf der Seite des offenen Ohres, tritt ein erheblicher Ausfall hervor, am deutlichsten ungefähr an derjenigen Stelle, wo auch die binaurale Beurtheilung der Richtung am schwächsten ist.

Die aus einer Serie von 400 bis 500 Urtheilen gewonnenen Zahlen sind folgende:

Beobachter: R. B. — Schallquelle P H.				
Vorn	0 0	. . . . .	30 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5 0	. . . . .	40 „	„
	45 0	. . . . .	70 „	„
	67,5 0	. . . . .	40 „	„
Rechts	90 0	. . . . .	80 cm	„
	112,5 0	. . . . .	>1 m	„
	135 0	. . . . .	30 cm	„
	157,5 0	. . . . .	80 „	„
Hinten	180 0	. . . . .	>1 m	„
	202,5 0	. . . . .	>1 „	„
	225 0	. . . . .	>1 „	„
	247,5 0	. . . . .	>1 „	„
Links	270 0	. . . . .	>1 „	„
	292,5 0	. . . . .	50 cm	„
	315 0	. . . . .	70 „	„
	337,5 0	. . . . .	30 „	„

An der Stelle der schärfsten Localisation, vorn bei 0°, wo binaural auf 6 cm Abstand richtig geurtheilt wird, muss die Schallquelle 30 cm weit verschoben werden, ehe dies mit einem Ohr erkannt wird. Dass aber überhaupt monaural ein Localisationsvermögen, wenn auch noch so mangelhaft, besteht, das stellen auch die Ziffern vorstehender Tabelle ausser Zweifel. Nur kann dasselbe nicht auf der Intensitätsvergleichung beider Ohren beruhen.

Hier müssen wir nunmehr das andere Moment zur Erklärung heranziehen, auf welchem in zweiter Reihe jene Fähigkeit unseres Hörorganes beruht, die Lage und Gestalt der Ohrmuschel, sofern sie die Stärke der in den Gehörgang und zum Trommelfell gelangenden Schallwellen beeinflussen.

Der von vorn kommende Schall des P H mit seinen hohen Klirr-
tönen wird von der Concavität der Concha aufgefangen und in den Gehörgang hineingeworfen — von rückwärts kommender nicht; diesem steht vielmehr die Muschel im Wege. Daher vorn die bessere Localisation als in der Umgebung von 180°. Die Marken bei 90° und bei 112,5° liegen noch im Schatten des Tragus, in Kessel's »vorderem

Hörbereich«. Ist aber dessen Kante passiert, so gelangt der Schall wieder direct in den Gehörgang, und der Unterschied zwischen dieser Stelle des feineren Hörens und der benachbarten minder begünstigten markirt sich bei 135° in dem plötzlichen Hereinrücken der monauralen Curve. Dann aber kommt das »hintere Hörbereich« Kessel's und die Seite des verschlossenen Ohres, und hier hört so ziemlich alle Localisation auf.

Auffallend könnte erscheinen, dass vorn l. die Wahrnehmung der Verschiebung wieder etwas besser wird, obwohl doch der Einfluss des l. Ohres auf die Beurtheilung eliminirt ist. Hier ist indessen zu berücksichtigen, dass bei der gewählten Entfernung der Schallquelle vom Kopfe in 1 m Abstand die Schallstrahlen in genügender Stärke die Ohrmuschel erreichen, lange bevor wir zum Nullpunkt zurückgekehrt sind. —

K. L. Schäfer hat, wie oben (S. 30) mitgetheilt, gezeigt, dass ein monaural gehörter leiser Stimmgabelton durch die Kopfknochen zu dem verschlossenen Ohre hinübergeleitet wird, ein Versuch, der leicht zu wiederholen und zu bestätigen ist. Wenn eine solche Ueberleitung auch für den kurz dauernden Schall des P H eintreten sollte, was übrigens kaum festzustellen ist, so dürfte man bei den zuletzt geschilderten Versuchen nur in bedingter Weise von monauralem Hören sprechen. Mir ist jedoch eine solche Theilnahme des verschlossenen Ohres bei unseren Versuchen nicht wahrscheinlich erschienen. —

Wenn wir nunmehr zur Betrachtung des Localisationsvermögens im Frontalkreise übergehen, so bietet sich uns ein von dem soeben erörterten in verschiedenen Punkten abweichendes Bild dar. Beiläufig sei bemerkt, dass hier meine Versuchsperson eine andere Stellung inne hatte als jene Münsterberg's. Der Beobachter lag auf einer Bank, das Gesicht nach oben gewendet, mit der Mitte der Gehöraxe über dem Centrum des Kreises, und die Schallquelle (P H) wurde wieder horizontal auf Kopfhöhe in der Meterkreislinie verschoben. Es ist klar, dass dieselbe nun, statt von vorn nach hinten, von oben nach unten wanderte. Oben, 1 m vertical über dem Kopfmittelpunkte, war die 0° -Marke, links, in Uebereinstimmung mit Münsterberg's Anordnung, 90° , zu den Füßen des Beobachters 180° , an seiner rechten Seite 270° .

Conform den Angaben dieses Autors fand auch ich hier vier Stellen der besten Localisation und zwar oben, unten, rechts und links, dazwischen ebenso viele Gebiete herabgesetzter Fähigkeit der Richtungserkennung.

Die Ziffern für den binaural beurtheilten Frontalkreis sind folgende:

Oben	0 0	. . . . .	8 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5 0	. . . . .	12 „	„
	45 0	. . . . .	50 „	„
	67,5 0	. . . . .	30 „	„
Links	90 0	. . . . .	15 „	„
	112,5 0	. . . . .	50 „	„
	135 0	. . . . .	50 „	„
	157,5 0	. . . . .	15 „	„
Unten	180 0	. . . . .	8 cm	„
	202,5 0	. . . . .	15 „	„
	225 0	. . . . .	40 „	„
	247,5 0	. . . . .	40 „	„
Rechts	270 0	. . . . .	10 „	„
	292,5 0	. . . . .	30 „	„
	315 0	. . . . .	40 „	„
	337,5 0	. . . . .	12 „	„

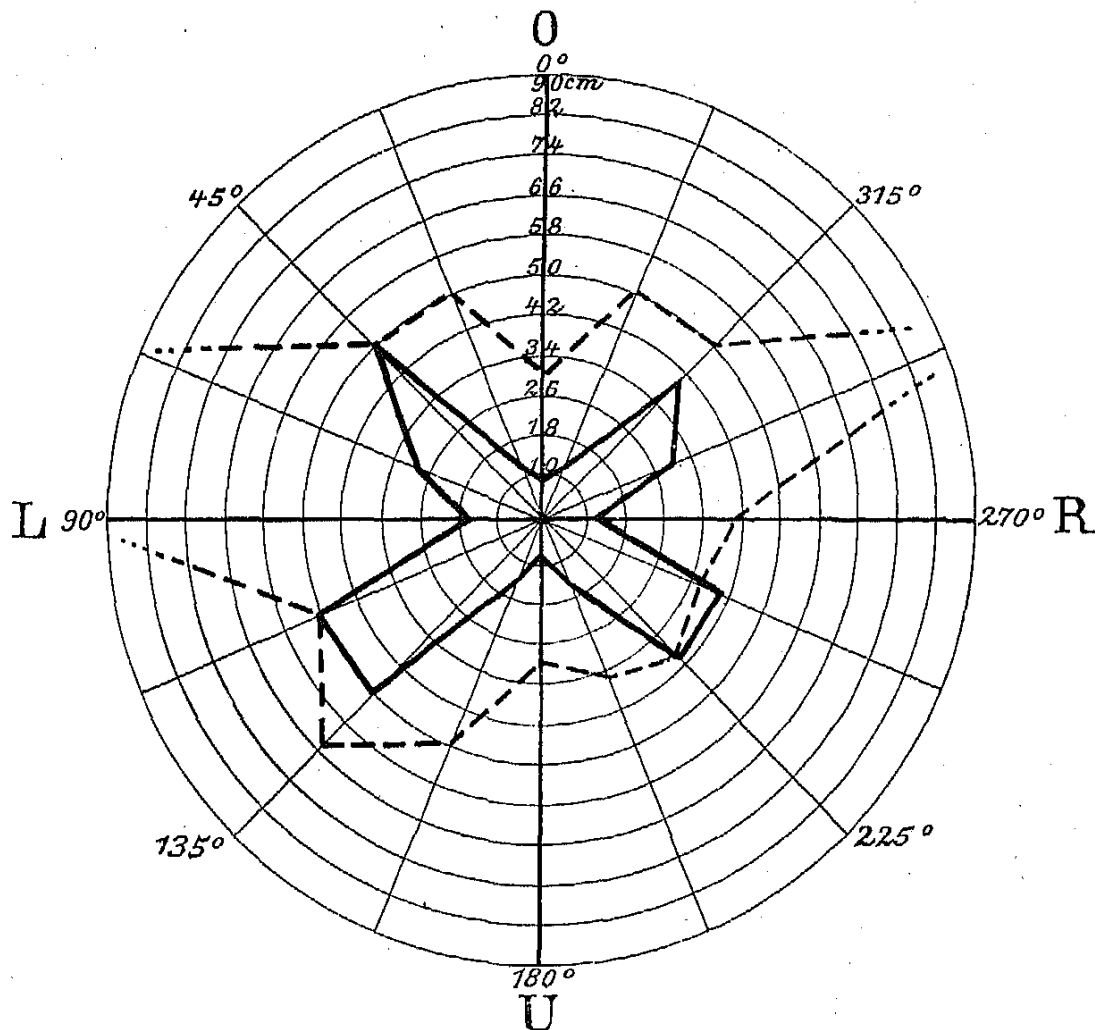
Betrachtet man die binaurale Curve dieses Kreises (Fig. 3 die ausgezogene Linie), so fallen die vier Stellen intensiver Localisation deutlich in die Augen, ebenso die Symmetrie der beiden Kreishälften r. und l. Dass auch hier, wie im Horizontalkreise, die linke Seite gegen die rechte etwas zurücksteht, beruht wohl auf einem kleinen Unterschiede der Hörschärfe.

Der obere und der untere Nahepunkt der Curve finden wieder eine befriedigende Erklärung durch das Princip der Vergleichung der beiderseitigen Empfindungsintensität. Eine Verschiebung aus der Medianebene weg wird rasch bemerkt. Diese Thatsache findet in dem grossen Versuchsmateriale Preyer's ihre vollkommene Bestätigung. »Unter mehreren tausend Versuchen an normal hörenden Menschen,« sagt er, »ist nicht ein einziges Mal ein von links kommender Schall nach rechts verlegt worden und umgekehrt« (a. a. O. S. 595). Und ebenso hebt er (S. 615) die Erscheinung hervor, »dass normaler Weise kein von links oder von rechts kommender Schall in die Medianebene verlegt wird«, sowie »dass keine mit einem Radius der Medianebene zusammenfallende Schallrichtung nach links oder nach rechts verlegt wird«. Die Axen, welche Preyer und seine Schüler in den uns augenblicklich beschäftigenden Strecken des Frontalkreises untersucht haben, die Richtungen o, ol, or, u, ul, ur, sind die Radien bei 0°, bei 45° und 315°, bei 180°, 135° und 225°. Er hätte beiderseits wohl noch eine Zwischenaxe einschalten können, olo und oro, resp. ulu und uru,

und auch diese wären noch zu erkennen gewesen. In unserem Meterkreise wenigstens, wo die Strecke von 0° bis $22,5^\circ$ ($337,5^\circ$) 39 cm beträgt, werden Verschiebungen an diesen Stellen von 8 bis 12 cm richtig beurtheilt. Dasselbe gilt für den unteren Nahepunkt bei 180° .

Anders verhält es sich mit den lateralen Nahepunkten bei 90° und bei 270° . Zu ihrer Erklärung müssen neben der Intensitätsvergleichung

Fig. 3.



Frontal-Kreis: — binaural; - - - monaural; P H.

ebenfalls noch die Kessel'schen Hörgebiete herangezogen werden, und zwar, entsprechend der Richtung unserer Ebene, das untere und obere und das mittlere Bereich. Der Schall, der gerade seitwärts und noch eine Strecke von oben oder unten seitwärts in das letztgenannte Gebiet eindringt, wird besser erkannt, da seine Wellen zu einem grösseren Theile auf die Muschel der betreffenden Seite und in den Gehörgang gelangen, als der von oben und von unten kommende, welchem der Rand

der Muschel im Wege steht. Die Incisuren der Curve r. und l. sind also gewissermaassen die graphische Wiedergabe des mittleren Hörbereiches im senkrechten Schnitte. Sie rücken nicht so nahe zum Mittelpunkt heran wie die Stellen bei 0° und 180° . Die Mitwirkung der Muscheln bei der Schalllocalisation steht, selbst in Verbindung mit einer mangelhaften Intensitätsvergleichung, wie sie hier stattfindet, immerhin hinter der Vergleichung der beidseitigen Schallstärke in der Nähe der Medianaxe zurück.

Wenn wir also auch ausser Stande sind, die constatirten Werthe der Localisationsempfindlichkeit im frontalen Verticalkreise aus einem Punkte zu erklären, so ist doch eine Deutung derselben möglich, ohne andere als wohlbegründete Annahmen zu machen.

Auch in dieser Ebene sinkt bei monauraler Beobachtung die Schärfe des Urtheils ganz erheblich. Ich gebe zunächst wieder die aus etwa 400 Einzelversuchen gezogenen Zahlen. Das l. Ohr war verschlossen.

Oben	0	0	.	.	.	.	.	.	30 cm Verschiebungsgrösse.	
	22,5	0	.	.	.	.	.	.	50 „	„
	45	0	.	.	.	.	.	.	50 „	„
	67,5	0	.	.	.	.	.	.	>1 m	„
Links	90	0	.	.	.	.	.	.	>1 „	„
	112,5	0	.	.	.	.	.	.	50 cm	„
	135	0	.	.	.	.	.	.	65 „	„
	157,5	0	.	.	.	.	.	.	50 „	„
Unten	180	0	.	.	.	.	.	.	30 „	„
	202,5	0	.	.	.	.	.	.	35 „	„
	225	0	.	.	.	.	.	.	40 „	„
	247,5	0	.	.	.	.	.	.	35 „	„
Rechts	270	0	.	.	.	.	.	.	40 „	„
	292,5	0	.	.	.	.	.	.	>1 m	„
	315	0	.	.	.	.	.	.	50 cm	„
	337,5	0	.	.	.	.	.	.	50 „	„

(s. die punktirte Curve in Fig. 3.)

Auch hier bleibt unter Ausschluss der Intensitätsvergleichung der beiderseitigen Schallempfindung für das Verständniss dieser Linie nur der Stärkewechsel übrig, der beim Eintritt der Schallstrahlen in die verschiedenen Hörbereiche platzgreift. Die Verschiebungen der Schallquelle müssen hier bereits soweit ausgedehnt werden, dass in Wirklichkeit die Gebiete der einzelnen Radian ineinanderfliessen und eine einigermaassen genauere Orientirung kaum noch ausgeführt wird. Oben und unten, an den Stellen der relativ besten monauralen Frontallocalisation

muss doch der Schallgeber so weit verschoben werden, dass die Schallstrahlen aus dem oberen bzw. unteren Hörbereiche in das mittlere hereinrücken, wenn eine auch so noch mangelhafte Localisation ausgeübt werden soll. Dass nicht bloß zur Seite des ausgeschalteten Hörorgans, sondern auch rechts die Erkennung der Richtung so ungenau ist, beweist wieder, dass die Theilnahme der Muschel an dieser Leistung die Intensitätsvergleiche eben nicht ersetzen kann, dass thatsächlich, entsprechend der allgemeinen Annahme, die genauere Localisation auch im Frontalkreis eine binaurale Function ist. —

Wir gelangen nunmehr zur Untersuchung der Localisationsfähigkeit in derjenigen Ebene, welche wohl allen Untersuchern das meiste Kopferbrechen verursacht hat, zur Untersuchung des Sagittalkreises.

Hier hat natürlich die Vergleichung der Schallempfindungsstärke zwischen rechts und links ein Ende, denn jeder Punkt der Peripherie ist gleich weit von beiden Gehörgängen, gleich weit von einem beliebigen Theile beider Muscheln entfernt. Und doch ist streckenweise auch in diesem Kreise ein mässiges Localisationsvermögen vorhanden. Wenn Münsterberg (a. a. O. S. 230) behauptet, dass »durchschnittlich die Localisationsempfindlichkeit in diesem Kreise noch bedeutender als im Frontalkreis und Horizontalkreis« sei, so widersprechen dem freilich meine Versuche auf das Entschiedenste. In keiner anderen Ebene ist die Localisationsschärfe so wenig entwickelt als in der sagittalen. Dies wird, wie früher angegeben, auch von anderen Untersuchern hervorgehoben.

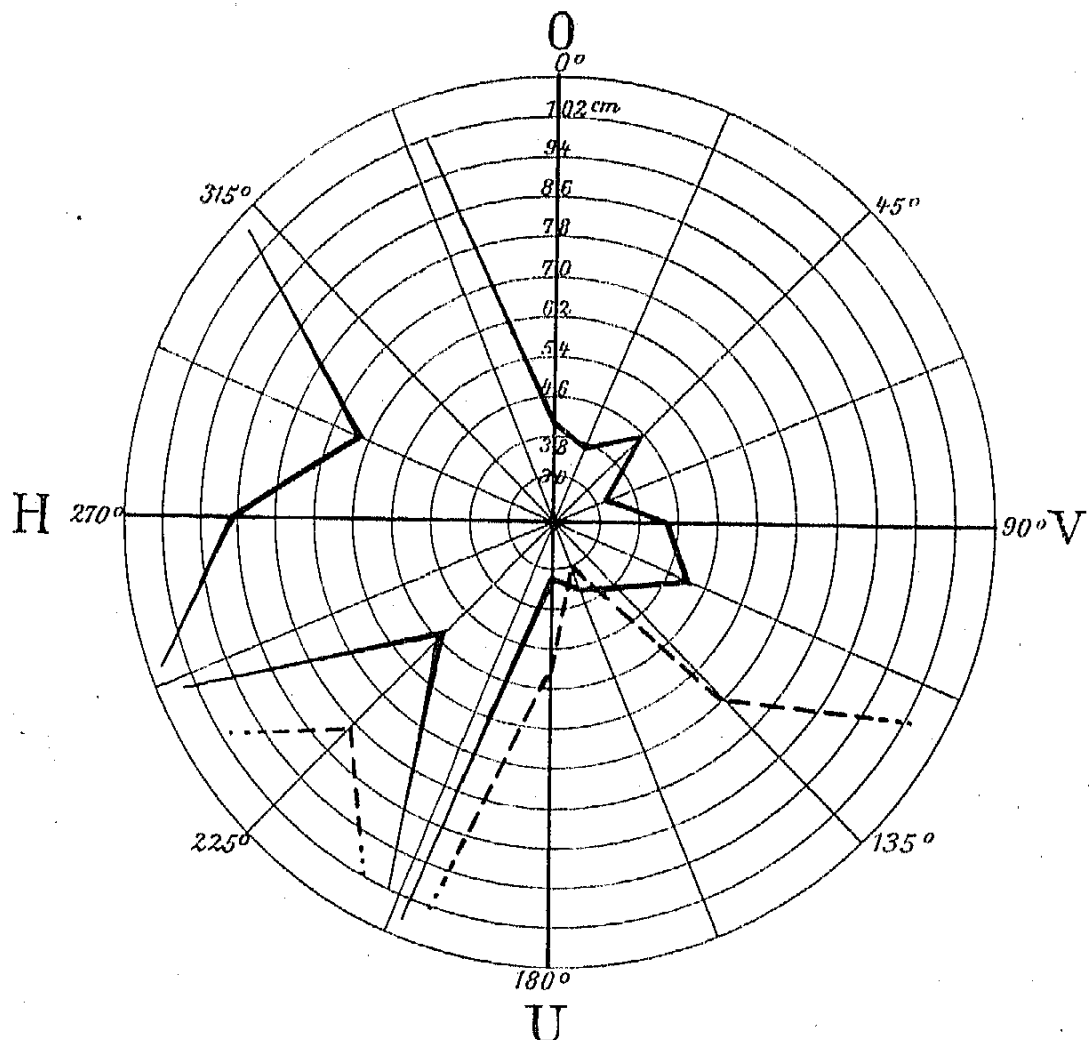
Die Zahlen mögen für sich selbst sprechen. Ich schicke nur voraus, dass hier der Beobachter horizontal auf einer Seite lag und sein Kopf durch eine aufgehängte Bindenschleife schwebend gehalten wurde, welche beide Ohren frei liess. Die Schallquelle (P H) konnte also wiederum horizontal auf Kopfhöhe in der Peripherie des Meterkreises verschoben werden. Die 0°-Marke war wieder über dem Scheitel, 90° gerade nach vorn, 180° unten, 270° hinter dem Rücken der Versuchsperson.

Bei binauraler Prüfung, welche zu verschiedenen Zeiten, mehrfach für jede Stelle ausgeführt wurde, erhielten wir aus wohl mehr als 1500 Urtheilen folgende Durchschnittswerthe:

Oben	0°	. . . . .	40 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5°	. . . . .	37 "	"
	45°	. . . . .	45 "	"
	67,5°	. . . . .	32 "	"

Vorn	90°	0	. . . . .	43 cm	Verschiebungsgrösse.
	112,5°	0	. . . . .	50 "	"
	135°	0	. . . . .	38 "	"
	157,5°	0	. . . . .	35 "	"
Unten	180°	0	. . . . .	32 "	"
	202,5°	0	. . . . .	>1 m	"
	225°	0	. . . . .	53 cm	"
	247,5°	0	. . . . .	>1 m	"
Hinten	270°	0	. . . . .	87 cm	"
	292,5°	0	. . . . .	63 "	"
	315°	0	. . . . .	>1 m	"
	337,5°	0	. . . . .	>1 "	"

Fig. 4.



Sagittal-Kreis: — binaural; - - - monaural; P H.

Ueberblickt man diese Zahlen, so ist zunächst absolut keine geometrische Regelmässigkeit herauszufinden. Erst wenn man sie wie bei den beiden anderen Kreisen in Curvenform sich veranschaulicht, ge-

winnen sie Gestalt. S. Fig. 4. Da erkennt man denn, dass nur in der vorderen Hälfte dieses Kreises eine mässige Localisation stattfindet. Sogar recht mässig gegenüber den beiden anderen Kreisen; denn an keiner Stelle rücken die Ordinaten näher als 20 bis 30 cm zum Mittelpunkt heran, während sie dort 6 cm und 8 cm erreichen. In der hinteren Hälfte ist fast überall eine Localisation unausführbar.

Dass die schärfere Richtungserkennung in der vorderen Hälfte überhaupt der Stellung der Ohrmuschel zu danken ist, steht ausser Zweifel. Das zeigt uns jeder Schwerhörige, der, um von vorn kommende Schallwellen besser aufzufangen, die Muschel mittelst seiner hohlgehaltenen Hand noch vergrössert.

Sieht man genauer zu, so fallen zwischen 45° und 180° zwei erheblichere Einschnitte auf, in deren Grund die grösste Localisationsschärfe des ganzen Sagittalkreises erlangt wird. Es liegt nahe, die zwischen beiden liegende Hervorragung auf den Tragus zu beziehen. Wie man auch über die Sammlung und Concentration der Schallstrahlen mittelst der Muschel denken mag, das ist jedenfalls nicht zu bestreiten, dass einzelne Theile derselben den Zufluss der Schallwellen zum Gehörgange hindern können, und dies gilt namentlich von der dem Ohreingang vorgelagerten Traguswand. Weiter werden wir vermuthen dürfen, dass die Incisura intertragica von vorn unten her den Eintritt der sagittalen Schallwellen erleichtert — daher an dieser Stelle die schärfere Localisation — und dass die obere Curvoneinbuchtung in ähnlicher Weise auf Rechnung des in der Anatomie unbenannten seichteren Einschnittes zwischen Tragus und Radix helices zu setzen ist. Wir wollen ihn Incisura supratragica heissen.

Ob diese Annahmen zutreffend sind, wird experimentell dadurch zu prüfen sein, dass wir die betreffenden Incisuren beseitigen.

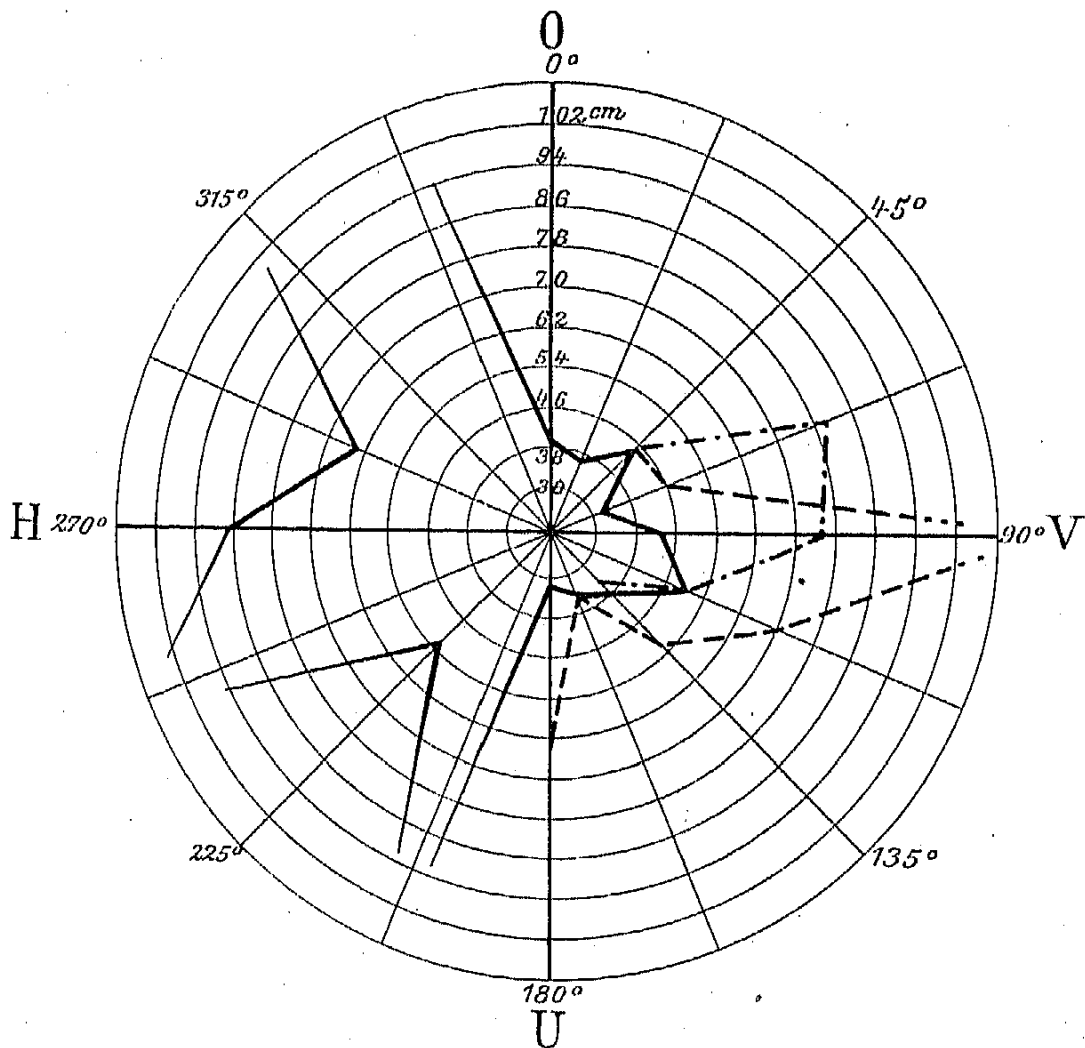
Wir verkleben zunächst die beiden Incisurae supratragicae mit Wachs und Heftpflaster; die Spitze des Tragus bildet jetzt mit dem Rande des Helix eine gerade Kante. Wir prüfen wieder in beschriebener Weise den binauralen Sagittalkreis von 0° bis 135° und erhalten folgende Ziffern:

Oben	0	0	.	.	.	.	.	.	40 cm Verschiebungsgrösse.
	22,5	0	.	.	.	.	.	.	35 „ „
	45	0	.	.	.	.	.	.	45 „ „
	67,5	0	.	.	.	.	.	.	80 „ „
Vorn	90	0	.	.	.	.	.	.	75 „ „
	112,5	0	.	.	.	.	.	.	50 „ „
	135	0	.	.	.	.	.	.	35 „ „

(s. Fig. 5 die punktirte und gestrichelte Linie.)

In 0° , $22,5^\circ$ und 45° deckt sich die Localisationsschärfe bei dieser Anordnung mit den binauralen Durchschnittszahlen bei freien Muscheln. Bei $67,5^\circ$, an dieser Stelle der relativ besten sagittalen Localisation, rückt aber die Curve erheblich hinaus. Ich habe gerade diesem Abschnitte eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet und die angegebene Zahl aus einigen Hundert zu verschiedenen Zeiten erhobener

Fig. 5.



Sagittal-Kreis: — binaural frei; - - - bin. die Incisur. supratrag. verklebt 0° — 135° ; - · - bin. die Incisur. intertrag. verklebt 0° — 180° ; P H.

Urtheile gewonnen. Auch bei 90° ist die Erkennung der Verschiebung des P H noch erschwert und erst bei $112,5^\circ$ und 135° wieder gleich der frei binauralen.

In einer anderen Versuchsreihe wurden in ähnlicher Weise die Incisurae intertragicae verlegt und die ganze vordere Hälfte des Sagittalkreises wiederholt geprüft. Der Beobachter gab ungefragt

an, dass hierbei der Klang des P H leiser und matter geworden sei. Wir erhielten folgende Durchschnittszahlen:

Oben	0°	. . . . .	40 cm	Verschiebungsgrösse.
	22,5°	. . . . .	30 "	"
	45°	. . . . .	45 "	"
	67,5°	. . . . .	47 "	"
Vorn	90°	. . . . .	>1 m	"
	112,5°	. . . . .	70 cm	"
	135°	. . . . .	52 "	"
	157,5°	. . . . .	35 "	"
Unten	180°	. . . . .	63 "	"

(s. die punktirte Linie in Fig. 5.)

Die hierdurch gewonnene Curve ist zwar einigermaßen, aber nicht vollständig der Erwartung entsprechend. Die Zahlen der drei ersten Abschnitte (0° bis 45°) sind nicht verschieden von denen, welche wir auch bei beiderseits freier Muschel erhalten hatten. Dann aber nimmt die Localisationsschärfe ab, erreicht schon bei 90° ihr Minimum und kommt bei 157,5° der binaural freien wieder gleich. Kein Zweifel, dass eine Abnahme durch Verstopfung der Incisura intertragica entsteht. Die Verschiebung der Curve nach oben dürfte von der etwas unvollkommenen Versuchseinrichtung abhängen. Der über Tragus, Antitragus und Lobulus hinweggespannte Heftpflasterstreifen drückt nämlich einerseits den Tragus nach innen und verlegt dadurch über die Norm den Zugang zum Meatus. Andererseits presst er den Antitragus und das Ohrläppchen an den Kopf an, wodurch die von weiter unten kommenden Schallstrahlen freieren Zutritt zum Gehörgang erhalten. Wenn also auch diese Anordnung nicht vollkommen zweckentsprechend war, so zeigt sie doch unzweideutig wieder den Einfluss der Gestalt und Stellung der Muschel auf die Schalllocalisation.

Durch eine weitere Serie von Richtungsurtheilen wird dieser Einfluss noch deutlicher illustriert.

Aus diesen Versuchen sollte der Antheil der oberen, hinteren und unteren Parthie der Muschel an der sagittalen Localisation ermittelt werden. Zu diesem Behufe wurde die obere Hälfte derselben beiderseits bis zur Concha mit Watte bedeckt und sodann durch eine Gummibadehaube mit elastischem Rande — ein anderes Mal durch dichte Bindentouren — an den Kopf angedrückt erhalten. Die Ohrläppchen wurden durch Heftpflaster zurückgedrängt, die Incis. intertragica. freigelassen bzw. hierdurch noch erweitert.

Der Erfolg stimmt mit den Angaben Kessel's überein (vergl. o. S. 32). Die Sicherheit des Urtheils sinkt oben und vorn ganz erheblich, nimmt dagegen unten und hinten unten nicht unbeträchtlich zu. Die erhaltenen Zahlen sind folgende:

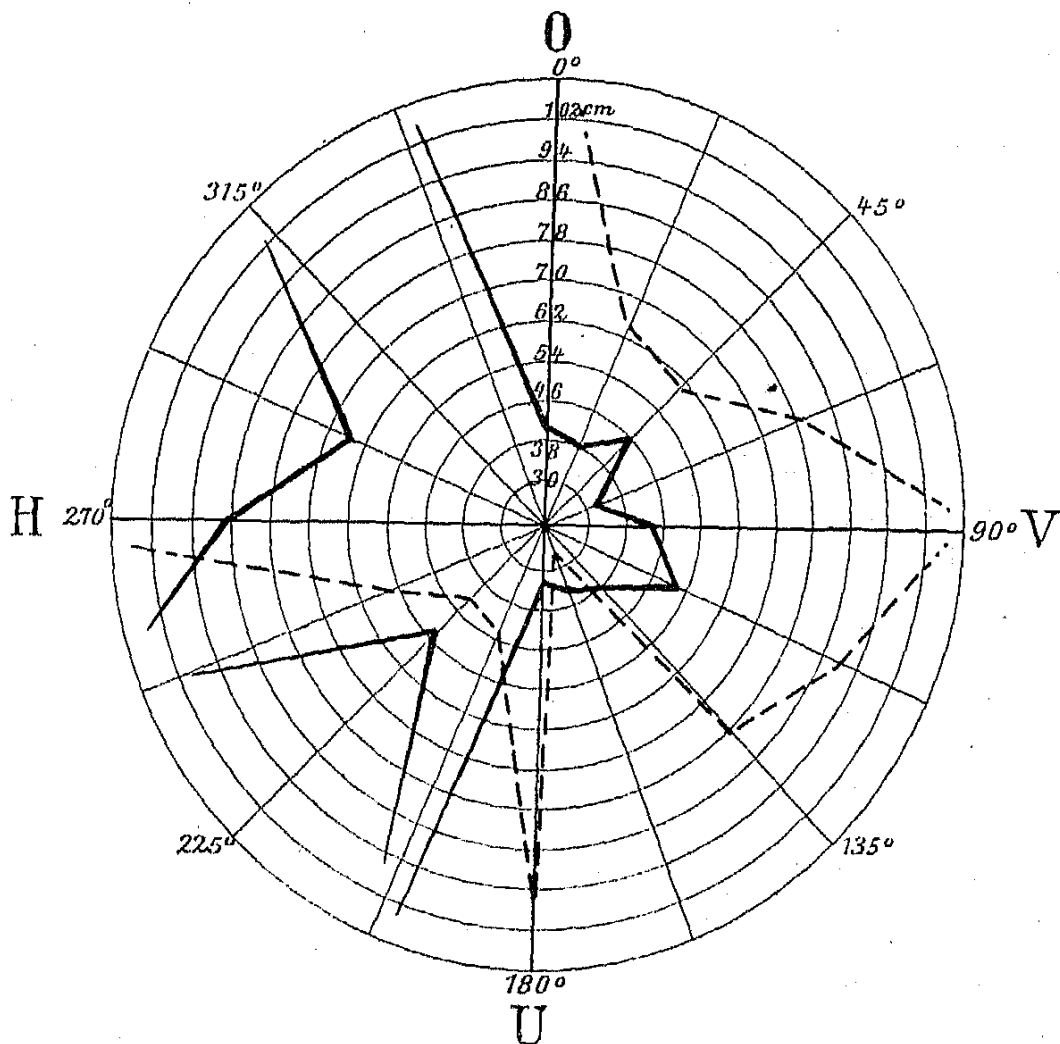
Oben	0°	. . .	>1 m	Verschiebungsgrösse.	
	22,5°	. . .	65 cm		„
	45°	. . .	60 „		„
	67,5°	. . .	80 „		„
Vorn	90°	. . .	>1 m		„
	112,5°	. . .	90 cm		„
	135°	. . .	80 „		„ (2 mal bestimmt.)
	157,5°	. . .	22 „		„ (3 mal best., mehr als 100 Urth.)
Unten	180°	. . .	95 „		„ (2 mal bestimmt.)
	212,5°	. . .	44 „		„ (4 verschiedene Male bestimmt.)
	225°	. . .	45 „		„ (3 mal bestimmt.)
	247°	. . .	55 „		„ (2 mal bestimmt.)
Hinten	270°	. . .	>1 m		„
	292,5°	. . .	>1 „		„
	315°	. . .	>1 „		„
	337,5°	. . .	>1 „		„

(s. die punktirte Curve von Fig. 6.)

Wir entnehmen aus dieser Curve, dass wenn die Schallwellen nicht von der Ohrmuschel aufgefangen und in den Gehörgang hineingeworfen werden, die Localisationsschärfe im Sagittalkreise eine ganz ungenügende wird gerade auf jenen Strecken, welche für gewöhnlich am günstigsten liegen. Wir sehen weiter, wie der unterste Umfang der Muschel normalerweise den von unten hinten anlangenden Schallwellen den Eintritt in's Ohr erschwert. Wird hier Raum für dieselben geschaffen, so steigt die Localisationsschärfe nicht unwesentlich. Eine Ausnahme macht allerdings die Gegend von 180°. Wesshalb gerade hier der bedeutende Abfall, weiss ich vorerst nicht zu erklären. Man sollte gerade hier, zwischen den zwei Stellen besserer Localisation, ein solches Hinausrücken für unmöglich halten. Auf alle Fälle ist die Beobachtung hinlänglich genau, um registriert zu werden. Ich habe zudem die betreffende Strecke unter der gleichen Anordnung noch mit einem anderen Beobachter (Dr. med. F.) untersucht und habe ein analoges Ergebniss erhalten; nur lag hier dieser unerwartete Fernpunkt um eine Marke weiter nach hinten. Die bezüglichen Ziffern lauten hier:

Vorn	135°	0	. . .	40 cm	Verschiebungsgrösse.
	157,5°	0	. . .	20 "	"
Unten	180°	0	. . .	15 "	"
	212,5°	0	. . .	>1 m	" (3 mal geprüft.)
	225°	0	. . .	35 cm	"
	247,5°	0	. . .	30 "	"
Hinten	270°	0	. . .	>1 m	"

Fig. 6.



Sagittal-Kreis: — binaural frei; - - - bin. Ohrmuschel bis an d. Concha bedeckt,
Läppchen angedrückt; P H.

Also im Uebrigen eine congruente Curve. Möglicherweise trägt irgendwie die Versuchsanordnung Schuld an dem Ausfall. Für denjenigen im hinteren oberen Quadranten (von Fig. 6) ist dies sehr wahrscheinlich; die breite Bedeckung der hinteren oberen Muschelgegend hemmte den freien Zufluss der Schallwellen zum Ohre.

Wir kehren noch einen Augenblick zu der freien binauralen

Sagittalcurve zurück. Sie sagt uns, dass die Localisationsschärfe der hinteren Hälfte eine verschwindend kleine ist. Begreiflich; die Muschel ist für die Zuleitung der von vorn kommenden Schallwellen eingestellt, sie weist daher die von rückwärts kommenden ab. Wir können aber auch das Verhältniss umkehren. Der Versuch ist allbekannt, in welchem der Helixsaum beiderseits mittelst der Daumen an den Kopf angepresst und die hohle Hand vor dem Ohr, aber nach hinten offen angelegt wird — er zeigt klar, wieso das genauere Hören von vorn kommender Schallwellen zu Stande kommt.

Nur an zwei Stellen, hinten unten und etwas nach hinten oben rückt die Curve ein wenig näher herein. Sollte es Zufall sein, dass dies gerade gegenüber jenen beiden Radien der vorderen Hälfte geschieht, welche eine mindere Genauigkeit der Localisation aufweisen? Man ist wiederum versucht anzunehmen, dass Muscheltheile, wie der Tragus und der vordere Helixrand, welche den von vorn und von oben eintreffenden Strahlen im Wege stehen, umgekehrt diejenigen begünstigen, welche aus entgegengesetzten Richtungen stammen.

Kurz — an welcher Stelle des Sagittalkreises man die so regellos erscheinende Curve untersucht, überall wird man auf den dominirenden Einfluss der Ohrmuschel hingewiesen.

Dem widerspricht auch nicht das Aussehen der monauralen Sagittalcurve. Das eine (l.) Ohr wurde in unseren Versuchen dadurch eliminirt, dass es verstopft wurde und der Beobachter sich noch ausserdem auf dasselbe legte. Die erhobenen Werthe entstammen etwa 200 Urtheilen, einer Ziffer, die nur darum hinter den anderen zurückbleibt, weil wir an den meisten Marken bald jede genauere Localisation als unmöglich erkannten.

Sie war nämlich in beiden oberen Quadranten an allen Stellen ≥ 1 m, auch noch bei

Vorn	112,5°	. . . . .	>1 m	Verschiebungsgrösse.
	135°	. . . . .	70 cm	"
	157,5°	. . . . .	30 "	"
Unten	180°	. . . . .	50 "	"
	202,5°	. . . . .	>1 m	"
	225°	. . . . .	80 cm	"
	247,5°	. . . . .	>1 m	"

(s. die punktirte Linie in Fig. 4.)

Die einzige Stelle einer für diese Ebene genaueren Localisation ist vorn unten, dort wo die Incisura intertragic. den Schalleinlass begünstigt und gegenüber der überhängenden oberen Muschelpartie,

welche doch wohl die kurzen Wellen höchster Töne nach der Concha und nach dem Meatus hin reflectirt.

Man könnte einwenden, dass hier, wo keine bilaterale Intensitätsvergleichung die Schärfe des Urtheils beeinflusst, das monaurale Hören nicht so viel schlechter ausfallen sollte als das mit beiden Ohren. That- sächlich rückt ja auch die monaurale Curve vorn unten, an der Stelle, wo auch das binaurale Erkennungsvermögen mit das beste des Sagittal- kreises ist, ebensoweit herein, als das letztere. In den anderen Kreisen, in welchen die Intensitätsvergleichung eine Rolle spielt, tritt ein solcher Fall nie ein. Aber abgesehen von dieser besonders bevorzugten Stelle dürfen wir wohl diesem Einwande mit einem Hinweise auf die Unter- suchungen begegnen, welche eine gegenseitige Verstärkung binotischer Eindrücke darthun. Wird das schwache, hohe, knallartig kurze Geräusch des P H nur mit einem Ohre wahrgenommen, so ist an den meisten Stellen der gesetzte Eindruck ein so wenig intensiver, dass er eben zu einem orientirenden Urtheile nicht hinreicht.

Wenn man die Localisation im Sagittalkreise als unwiderleglichen Beweis gegen die Theorie der Intensitätsvergleichung überhaupt vorge- führt hat, so ist dies, wie die geschilderten Versuche lehren, doch allzu weitgehend. Folgerichtig lässt sich nur für diesen Kreis be- haupten, dass die Erkennung der Schallrichtungen auf anderen Momenten beruhen müsse. Und hier ist nun wohl der maassgebende Einfluss der Ohrmuscheln nicht mehr zu bezweifeln.

Die Bedeutung der Ohrmuscheln für die Hörfunktionen wird von verschiedenen Autoren ungleich gewürdigt. Nach Mittheilung der Ansichten mehrerer Forscher kommt Hensen¹⁾ zu dem Ergebnisse, es sei »die Muschel wohl nicht ganz gleichgültig für die Hörschärfe und die Gehörswahrnehmungen, aber ihre Leistungen sind klein.«

Und selbst diese eingeschränkte Anerkennung versagt ihr Küpper²⁾. Er sieht in der Ohrmuschel ein lediglich bedeutungsloses Anhängsel. Sie sei weder im Stande, die Schallwellen in nennenswerther Stärke nach dem Gehörgange zu reflectiren, noch auch selbst solche aufzunehmen und weiter zu leiten. Für letzteren Zweck sei sie zu wenig gespannt und nicht innig genug mit den tieferen Theilen des Hörorgans verbunden. Aber auch für die Erkennung der Schallrichtung seien die Muscheln ohne Bedeutung. Es lässt sich indess aus K.'s kurzen Mittheilungen

¹⁾ Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. III, Th. 2, 1880, S. 24.

— ²⁾ Küpper, Ueber die Bedeutung der Ohrmuschel des Menschen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. VIII (Neue Folge Bd. II) 1874, S. 158 ff.

über die Art seiner Versuchsanordnungen nichts entnehmen, dagegen scheint der Autor die absolute Hörschärfe und die Fähigkeit der Erkennung der Schallrichtung nicht genügend auseinanderzuhalten. K. sieht in der Muschel eines jener »nur geerbten, nicht mehr functionirenden Organe«, die mangels Uebung mehr und mehr verkümmern, aber doch noch von einer Generation auf die andere übertragen werden. Schliesslich vergleicht er sie »in Bezug auf Brauchbarkeit oder vielmehr Unbrauchbarkeit mit einem Arme, dessen Muskeln atrophirt und dessen Gelenke unter ungünstigen Winkeln verwachsen sind.«

Zu der gleichen Ansicht bekennt sich, wenn auch in weniger extremer Weise, Mach¹⁾. Die Windungen der Muscheln sind nach ihm »die zurückgebliebenen Stützen der ehemaligen grösseren Thierohrmuschel und hatten aller Wahrscheinlichkeit nach auch am Thierrohr keine akustische Function, sondern nur die rein mechanische Aufgabe, das Umknicken der Ohrmuschel zu verhindern.« Dass sie den Schall sammeln und in den Gehörgang reflectiren können, ist nach M. physikalisch unhaltbar. Ein Reflex ist nur möglich, wenn die Schallwellen vielmal kleiner sind als die Lineardimensionen der reflectirenden Fläche. Und das trifft bei den Wellenlängen der hörbaren Töne nicht zu. Thatsächlich, sagt M., können wir auch in der Medianebene nicht localisiren, sondern nur rechts und links; alles Uebrige werde mit Hilfe von Kopfbewegungen errathen. Für die Erkennung der Schallrichtung seien die Veränderungen der Klangfarbe von besonderer Bedeutung, ebenso wie für die Schätzung der Entfernung einer Schallquelle. Für höhere Töne ist der Durchmesser der Ohrmuschel schon ein merklicher Bruchtheil der Wellenlänge, und an verschiedenen Stellen derselben können solche Töne in verschiedenen Phasen ankommen. M. möchte desshalb »die Ohrmuscheln auffassen als Resonatoren für hohe Töne deren Wirkung theilweise von der Stellung gegen die Schallrichtung abhängt und Aenderungen der Klangfarbe bedingt, die zur beiläufigen Kenntniss der Schallrichtung führen.« Von dieser bei Thieren anzunehmenden Function der Muscheln dürfte auch den menschlichen noch ein Rest zukommen.

Zu welch' abweichenden Ergebnissen über dieselbe Frage späterhin Kessel gelangt ist, haben wir bereits oben (S. 32 ff.) gesehen. Ich musste die Kessel'sche Arbeit dort schon einfügen, weil ich mich zur Erklärung von Schalllocalisationsverhältnissen wiederholt auf sie zu berufen hatte.

¹⁾ E. Mach, Bemerkungen über die Function der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk., Bd. IX, 1875, S. 72 ff.

Wenn wirklich die Ohrmuschel den erheblichen Einfluss auf gewisse Hörfunktionen ausübt, welchen die Versuche Kessel's und die vorstehend mitgetheilten erkennen lassen, so sind wir nicht mehr befugt, sie als ein bedeutungsloses Ueberbleibsel vergangener Entwicklungsstufen zu missachten. Weit eher sollten wir zu ermitteln suchen, ob nicht die verschiedene Gestaltung einzelner ihrer Theile einen entsprechenden Einfluss auf die Hörfunktionen ausübt. Dass dies z. B. für die Beziehung des Tragus zur Schalllocalisation in der Sagittalebene gelte, ist nach dem Mitgetheilten wahrscheinlich. Sowohl seine Form als auch seine Stellung zum Eingang des Meatus ist individuell verschieden. Bei Einem überragt er denselben weiter nach hinten als bei einem andern Menschen, bald lässt er den obersten Abschnitt des Ohreinganges frei, bald deckt er ihn — lateralwärts betrachtet — ganz, mitunter bildet sein freier Rand eine abgerundete Spitze, ein andermal ist er concav gestaltet oder wie gerade abgeschnitten; auch besitzt der Winkel, unter welchem er an der vorderen Wand des Gehörganges befestigt ist, wechselnde Grösse. Je nachdem dürfte sich die betreffende Strecke der Sagittalcurve etwas verschieden gestalten — und vielleicht nicht blos diese Curve — wenn auch ihre Form im Ganzen stets ähnlich bleiben wird.

Zweifelhaft erscheint, ob man zu genau denselben Ergebnissen bezüglich der Schalllocalisation käme, würde man statt des hohen Klanges des PH eine andere, erheblich tiefere Schallquelle verwenden. Streng genommen können wir ja nur behaupten, dass sich die Verhältnisse dieser Localisation für hohe Töne resp. Geräusche so wie geschildert verhalten. Doch steht zu erwarten, dass die hauptsächlichsten Ergebnisse auch aus einer Prüfung mit tieferen Klängen hervorgehen werden. So haben wir für den Horizontalkreis bei Verwendung des viel tieferen knackenden Geräusches, des künstlichen Frosches, eine übereinstimmende Curve (s. o.) erhalten. Und ebenso passt für den Frontalkreis unsere PH-Curve ganz gut zu der Münsterberg'schen, die mit dem tief schnurrenden Geräusche des Uhrknopfes erhalten wurde.

Nur für den Sagittalkreis muss ich diese Frage offen lassen. Aber wichtiger als für die beiden anderen ist es gerade für diesen so erheblich schwierigeren Kreis, mit hohen Klängen zu untersuchen, wenn die Ohrmuschel hier wirklich den beherrschenden Einfluss besitzt, welchen wir für sie beanspruchen. Denn wenn gerade der Klangcharakter von Bedeutung für die Erkennung der Schallrichtung ist, so kommt es nicht so fast auf die tieferen, die Grundtöne, als auf die

jenen bedingenden höheren und ganz hohen Obertöne an. Und gerade diese, nicht aber die Töne der mehrfüssigen Octaven, können in ihrer Zuleitung zum Trommelfell durch die Ohrmuschel beeinflusst werden. Wir erfahren von Preyer¹⁾, dass es möglich ist, Töne der 8-gestrichenen Octave zu hören, somit von einer Wellenlänge von beiläufig 1 cm, und solche Wellen — wahrscheinlich sogar viel längere — werden selbst nach Mach's physikalischen Anschauungen durch die Muschel in ihrem Gang beeinflusst. —

Dass die Schallqualität im weitesten Sinne für die Beurtheilung der Richtung von Bedeutung ist, lehrten uns weitere Versuche, welche wir anstellten, um gewisse unentschiedene Verhältnisse der Medianlocalisation zu studiren.

Bei der Ausführung derselben zeigte sich sogleich, dass dazu der rel. kleine geschlossene Raum des Institutszimmers wenig geeignet ist. Wir prüften in 1 m Entfernung vom Kopfe mit einer kleinen a_1 -Stimmflöte. Ob der Ton lang oder kurz, laut oder leise erklang, stets war die Aussage über die beiden geprüften Richtungen vorn und hinten so schlecht als möglich. Darauf wiederholten wir dieselben Versuche im Freien, auf einem einsamen, ganz offenen Platze, an einer Stelle, wo die Schritte durch aufgestreutes Sägemehl unhörbar wurden. Die Entfernung des Schallgebers vom Kopfe des Beobachters betrug 1,6 m. Alles binaural gehört.

- I. a_1 laut und etwa 5 Sec. lang. 8mal vorn und 8mal hinten (immer in unregelmässigem Wechsel) wurden stets richtig orientirt.
- II. a_1 leise und ebenso lang. Unter 8 Versuchen mit Ton vorn wird 6mal v und 2mal h angegeben, unter 8 h = 7 h und 1 v.
- III. a_1 laut und nur 1 Sec. lang. 8mal v = 8 v, 8mal h = 7 h und 1 v.
- IV. a_1 leise und ebenso kurzdauernd. 8mal v = 8 v, 8mal h = 2 h und 6 v.

Es wurde also der laute und anhaltende Ton von mässiger Höhe in der genannten (und in grösserer) Entfernung richtig, nach v wie nach h localisirt, der leise oder kurze nicht immer richtig, der leise und kurze nach h sogar schlecht. Grössere Intensität und Dauer des Tones, also stärkere Acusticusreize erleichtern die Erkennung dieser Richtungen der Medianebene. Diese Regel kehrt auch in den bezüglichen Versuchsreihen v. Kries' (a. a. O.) wieder.

¹⁾ W. Preyer, Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung. Jena, 1876, S. 22.

Wir versuchten für die gleiche Anordnung zu ermitteln, ob der normal hörende Beobachter auch monaural localisiren könne. Mit rein negativem Erfolge. Unter etwa 50 Urtheilen, welchen gleich viele Schalle v und Schalle h zu Grunde lagen, wurde nur 3mal Schall hinten richtig angegeben; in allen anderen wurde derselbe ausschliesslich nach vorn verlegt. Vergewärtigt man sich unsere monaurale Sagittalcurve, so findet man dieses unbefriedigende Ergebniss erklärlich. Ein anderes Mal hatten wir indessen mehr Glück, als wir mit dem P H untersuchten. Unter 84 binauralen Urtheilen über v oder h waren 75 (89 %) richtig, unter ebenso vielen monauralen 51 (60 %). Doch betrug die Entfernung der Schallquelle hier nur 0,6 m.

Eine andere Versuchsreihe galt ebenfalls der Localisation eines hohen Tones. Es war dies der Klang einer kurzen mit einem kleinen Blasebalg versehenen Holzpfeife, der etwa bei d_3 (= 1188 v. d.) lag. In einer Entfernung von 1,6 m wurde binaural

16 mal v = 13 mal v und 3 mal h,
16 mal h = 16 mal h localisirt.

Und in einer unmittelbar nachfolgenden Reihe bei 2,4 m Entfernung wurde

16 mal v = 15 mal v und 1 mal h,
16 mal h = 16 mal h angegeben,

also noch besser als in der geringeren Entfernung, was wohl auf Rechnung der Einübung für den gleichen Schall zu setzen ist.

Diese letzteren Versuchsreihen scheinen darauf hinzuweisen, dass die Medianlocalisation hoher Töne und Geräusche eine bessere ist, und mit unserer Anschauung über die Bedeutung der Ohrmuschel stimmt dies gut überein.

Interessant war das Ergebniss einer anderen kleinen Beobachtungsreihe, in welcher das mehrfach erwähnte laute Knacken des »künstlichen Frosches« als Prüfungsmittel diente. Die Entfernung betrug hier stets 2,4 m vom Kopfmittelpunkte. Wurde jeweils nur ein einmaliges Knacken erzeugt, indem die Feder nur über einen Zahn schnellte, so wurde unter

8 mal v = 3 v und 5 h localisirt,
8 mal h jedesmal richtig angegeben.

Bei zweimaligem, unmittelbar aufeinander folgendem Knacken:

8 mal v = 6 mal v und 2 mal h,
8 mal h = 7 mal h und 1 mal v.

Und wurde dieser selbe Schall 3 mal rasch nacheinander erzeugt, so orientirte der Beobachter

8 mal v = 7 mal v und 1 mal h,
8 mal h = 6 mal h und 2 mal v.

Schallquelle	einfaches Knacken	zweifaches Knacken	dreifaches Knacken
vorn	3 v 5 h	6 v 2 h	7 v 1 h
hinten	8 h	7 h 1 v	6 h 2 v

Nimmt man an der geringen Zahl der in dieser Tabelle enthaltenen Versuche keinen Anstoss — und es hat seine Vorzüge, nicht zu viele Versuche gleicher Art nacheinander anzustellen — so zeigt dieselbe, wie wir gewohnt sind, *cet. par.* einen schwächeren Schall nach hinten, einen lauterer nach vorn zu verlegen. Mit der Stärke des Geräusches (der Zahl der Knacke) wächst die Zahl der v-Urtheile (von 3 zu 6 zu 7 richtigen unter je 8, bzw. 3 mal, 7 mal, 9 mal v unter je 16 Urtheilen) und sinkt diejenige der Verlegungen nach h (8 mal, 7 mal, 6 mal richtig unter 8, bzw. 13 mal, 9 mal, 7 mal hinten unter je 16 Urtheilen überhaupt). Auch dies binaural beobachtet.

Man darf wohl auch hieraus schliessen, dass der mangelhaften Medianlocalisation andere Momente zu Hülfe kommen, die nicht mehr unmittelbar auf der physiologischen Sinnesempfindung beruhen. Hier z. B. ist der Vorgang bei der Urtheilbildung wohl so: wir wissen aus Erfahrung, dass derselbe Schall leiser klingt, wenn er von hinten als wenn er von vorn kommt, und darum sind wir bei nicht genauer Wahrnehmung geneigt, den lauterer überhaupt nach vorn und den leiseren nach hinten zu verlegen. Wird, wie hier, die Beurtheilung noch durch die kurze Dauer der Beobachtung erschwert, so sind wir mehr als auf irgend andere Qualitäten des Schalles auf dessen Intensität angewiesen. —

In welcher Weise eine Reflexion von der Umgebung diese Art der Schalllocalisation beeinflussen kann, ersehen wir aus den folgenden Versuchsreihen. Sie wurden in einem Hofe angestellt, welcher r und l vom Beobachter durch parallele Hauswände begrenzt ist, die wir hier vernachlässigen dürfen, an der dritten Seite durch eine 2 m hohe, 14 m lange Mauer; die vierte Seite liegt nach der Strasse und einem gegenüberliegenden grösseren Garten offen. Der Standpunkt des Beobachters war etwa 5 m von der Mauer entfernt. Wie immer war die optische Erkennung der Schallquelle ausgeschlossen. Diese bestand in dem Niederfallen eines kleinen Kieselsteines auf den Kiesboden, aus freier Hand etwa 4 m weit nach v oder nach h geworfen. Die zu erkennenden Richtungen waren also vu und hu.

Unter 16 Würfeln nach v — alle in unregelmässig wechselnder Richtung, wie gewöhnlich — wurden 14 nach v, 2 nach h (also falsch), 16 nach h alle richtig eingetragen, wenn die Vorderfläche der Ohrmuscheln nach der Mauer gerichtet war. Bei der entgegengesetzten Richtung, bei welcher die Mauer den von hinten kommenden Schall verstärkte, wurden die Würfe nach v ebenfalls gut beurtheilt, 15 mal unter 16 richtig; dagegen von den 16 von h kommenden verstärkten Schalleindrücken nur 12 richtig und 4 nach v verlegt. So mit beiden Ohren. Bei monauraler Beobachtung ist der Einfluss der Schallverstärkung durch die Mauer nicht minder merklich. War das Gesicht gegen die letztere gewandt, so waren von 16 Urtheilen (v und h) 15 richtig. Die Reflexion von der Wand vergrösserte den legitimen Einfluss der Ohrmuschel. Bei der entgegengesetzten Stellung waren nur 11 richtig, 5 verkehrt.

Die binaurale Erkennung dieser Richtungen wurde aber bei jeder Stellung des Beobachters sofort eine absolut gute, wenn die Wahrnehmung dadurch erleichtert wurde, dass binnen einer Secunde ein Stein nach der einen und ein zweiter nach der entgegengesetzten Richtung geworfen wurde. Es waren 32 Doppelurtheile abzugeben (vh oder hv), und alle waren richtig. Dabei kam jedoch dem Beobachter zu statten, dass er wusste, es würden die zwei Steine in entgegengesetzter Richtung fallen. Er konnte also aus bloß einem Schalle orientiren, welchen er deutlich genug hörte. Wir variirten nun die Versuche in der Art, dass nicht nur nach vh oder nach hv, sondern auch bloß nach h (hh) oder nach v (vv) beide Steine fielen. Und nun verringerte sich auch wieder einigermaßen die Sicherheit der Beurtheilung. Wir nennen hierbei ein Urtheil unrichtig, wenn nicht beide Würfe genau bezeichnet, also z. B. vh für vv oder für hh gehalten wurden. Mit Gesicht gegen die Mauer waren von 16 Doppelwürfen (hv, vh, hh und vv in unregelmässigem Wechsel) 15 richtig erkannt, mit Gesicht gegen die Strasse (die ungünstigere Stellung) 10 richtig, 6 falsch. Ein anderer, zum ersten Male mitwirkender gut-hörender Beobachter orientirte unter den 16 ersten Doppelwürfen mit Gesicht gegen die Strasse 8 richtig und 8 falsch, dann sofort aber mit Gesicht gegen die Mauer unter 32 Urtheilen 31 richtig und nun, nach dieser kurzen Einübung, wieder in der ersten Stellung unter 16 Fällen 14 richtig, 2 unrichtig.

Alle diese Doppelwürfe waren binaural beobachtet. Aber auch die monaurale Beurtheilung ist unter diesen Umständen recht gut; nur

wird der Schall, wie zu erwarten, regelmässig nach der Seite des offenen Ohres verlegt, also etwa statt v vr angegeben, wenn das l Ohr geschlossen ist.

Alle hier mitgetheilten Versuche über die Medianlocalisation zweier um ca. 180° auseinander liegenden Schallorte zeigen, dass dieselben recht gut, namentlich binaural, ermittelt werden, wenn die Schallqualität und die äusseren Umstände die Gehörperception erleichtern. Eine exacte Localisation ist dies selbstverständlich nicht, aber immerhin eine solche unter Verhältnissen, wo die Intensitätsvergleiche zwischen beiden Ohren aus dem Spiele bleibt — im Sagittalkreise. —

Es sollen schliesslich noch Versuche geschildert werden, welche sich auf die Beurtheilung der Entfernung der Schallquelle vom Kopfe beziehen. Nicht eine Schätzung des jeweiligen thatsächlichen Abstandes vom Beobachter, sondern eine Vergleichung zwischen zwei ungleich weit entfernten Schallgebern wurde verlangt. Es sollte nur angegeben werden, ob der erste oder der folgende Schall an dem näheren resp. entfernteren Orte entstand, oder ob beide an der gleichen Stelle erzeugt wurden.

Wir verwendeten als Schallquelle zunächst wieder denselben P H, dessen Klang dem Beobachter aus tausenden vorausgegangener Versuche bekannt war. Doch es erging uns hierbei nicht anders als v. Kries in seinen Experimenten mit Telephonknall und anderen kurzen Geräuschen. Es gelang nicht, »das Urtheil durch grosse Intensität des fernen und geringe des nahen Schalles irre zu führen« (a. a. O. S. 247). Nun fiel ich auf den Gedanken, den wohlbekannten Klang des P H dadurch ein wenig abzuändern, dass ich ein zweites Instrument hinzunahm, an welchem der cylindrische Metallambos durch einen vierkantigen hölzernen ersetzt und ein erheblich leichterer Hammer angebracht war. Der Schall erschien hier leiser und matter, die hohen metallischen Klirrtöne fielen weg, Töne, die sicherlich nahe der oberen Grenze der Wahrnehmung liegen. Wurde jetzt einmal der normale P H und gleich darauf der leisere angeschlagen, so kamen wir allerdings zu Resultaten, in welchen die Urtheilstäuschung eine constante blieb. Im Einzelnen ist Folgendes hierüber zu bemerken.

Der Beobachter befand sich wieder im Mittelpunkt des Meterkreises. Die beiden P H wurden entlang einem Maassstabe geführt, der parallel mit dem betreffenden Radius, etwas unter Ohrhöhe, gegen das Kreis-

centrum lief. Wurde nun nahe am Kopfe geprüft, so konnte der Beobachter aus offenbar geringen Klangdifferenzen die Lage der beiden P H richtig erkennen, auch wenn der leisere näher war. Rückte man aber etwas weiter vom Kopfe weg, so dass die leisesten und höchsten Töne (Obertöne) nicht mehr deutlich erkennbar waren, so liess sich der Beobachter regelmässig verleiten, den matteren Klang für entfernter zu halten.

Hinten in der Sagittalaxe wurde bei einem Abstände des nächsten Schallgebers vom Kopfe von 40—60 cm der Klang des entfernteren metallenen stets als näher bezeichnet.

In der gleichen Axe vorn wird die Verwechslung schon von etwa 25 cm an constatirt und findet noch bei einer Entfernung des näher liegenden hölzernen P H von 75 cm vom Kopfe statt.

Aehnlich verhielt es sich rechts und links. In geringerem Abstände als 25 cm vom rechten Ohre wurde der nähere leisere P H richtig orientirt, dagegen noch in 15 cm Distanz für die ferneren gehalten, wenn beide unmittelbar hinter einander an der gleichen Stelle angeschlagen würden. Von 25 cm Entfernung an wurde er weiter hinaus als der andere verlegt, selbst wenn er 20 cm näher als dieser letztere stand. Und wenn der metallene um 50—100 cm von dem näheren hölzernen fortgeschoben wurde, erkannte der Beobachter nicht die grössere Entfernung; aber nun wurde der Aufstellungsort beider als gleich angegeben.

Ebenso wurde linkerseits von 35 cm vom Ohre an in dem erwähnten Sinne verkehrt ausgesagt, selbst bei einer Differenz von 60 cm.

Gerade über dem Kopfe wurde die gegenseitige Stellung beider P H bis zu einem Abstände des näheren von der Gehöraxe von etwa 40 cm richtig beurtheilt. Von hier ab tritt die constante Verwechslung ein. Wenn das hölzerne Instrument dem Kopfe 20—25 cm näher steht, wird gleichwohl das metallene als das nähere bezeichnet.

Unten wurde bis etwa 35 cm vom Kopfe entfernt richtig localisirt. Dann begann wieder das Feld der Täuschungen. Besonders deutlich werden diese auch dann, wenn beide P H an der gleichen Stelle angeschlagen werden. Beharrlich wird der mattere Ton des hölzernen als der entferntere beurtheilt. In dieser Richtung wurde die Irreleitung auf einer Strecke von 0,5 m bis 1,5 m von der Gehöraxe ab constatirt.

Uebereinstimmende Resultate lieferte die Untersuchung bei einer zweiten Person, die desshalb nicht vollständig wiedergegeben zu werden brauchen. Von derselben wurde z. B. in der Richtung nach hinten

sowohl dicht hinter dem Kopfe, als auch in 0,5 m Entfernung der lautere, an gleicher Stelle angeschlagene P H näher localisirt, ebenso gerade vorn, wenn beide zwischen 20 und 100 cm vom Kopfmittelpunkte entfernt waren, und ebenso wurde der leisere weiter hinweg verlegt, wenn er bis zu 70 cm näher stand als der metallene.

Diese Beobachtungen gestatten wohl den Schluss, dass wir zur Beurtheilung der gegenseitigen Entfernung zweier Schallquellen (und wohl auch einer einzelnen von bekanntem Charakter) auf die Schallempfindungsintensität angewiesen sind, nicht gerade auf die Klangstärke als solche, sondern auf die Intensität der Empfindung der den Schall zusammensetzenden Einzeltöne. Werden wir bezüglich letzterer irregeführt, so fehlt überhaupt das akustische Mittel zur Beurtheilung. Wie auf einer solchen akustischen Täuschung die »Kunst« des Bauchredners sich stützt, hat v. Kries (a. a. O.) bereits angedeutet.

Derselbe Autor hat auch die Entfernungsbeurtheilung überhaupt als eine Hörfunction hervorgehoben, welche durch die Preyer'sche und die Münsterberg'sche Theorie nicht zu erklären ist (a. a. O. S. 247). Aber selbst wenn wir dieses gar nicht von ihnen verlangen, muss ich gegen diejenige Münsterberg's noch einen weiteren Einwand machen. Wie berichtet, betrachtet dieser Forscher den wiederholt angezogenen Urbantschitsch'schen Versuch (betreffend das An- und Abklingen unbewusster akustischer Empfindungen) als schlagenden Beweis für seine Theorie der Schallrichtungserkennung. Er sagt, wenn man nur rechts die Uhr hört, links dagegen nicht mehr und dessenungeachtet die Schallempfindung im Innern des Kopfes hat, so folgt hieraus, dass man von links blos die Richtungsempfindung erhält, die sich mit der rechtsseitigen Schall- und Richtungsempfindung zum subjectiven Hörfeld vereinigt.

Ich habe den interessanten Versuch zu wiederholten Malen selbst angestellt und durch hierzu befähigte Beobachter anstellen lassen. Aber mit etwas anderem Ergebnisse. Wenn wir nämlich das Uhrlicken im Innern des Kopfes hörten, so gelang es auch ausnahmslos, dasselbe nach Zudrücken des rechtsseitigen Schlauches im linken Ohre zur Wahrnehmung zu bringen. Allerdings nicht sofort; es währte eine Anzahl Secunden, bis hier das Ticken in vereinzelten Schlägen auftauchte. Aber es kam immer, nach 10, 20 Secunden, einmal sogar erst nach 70 Secunden! Lauscht man also nicht lange genug mit dem linken Ohre, so kann man wohl auf die Vermuthung kommen, dass links gar nichts zu hören sei.

Dass es sich in diesem Versuche thatsächlich um binaurales Hören handelt, wird schon durch die Untersuchungen wahrscheinlich, welche eine Verstärkung der Empfindung eines Hörorganes durch die Erregung des zweiten darthun. (Le Roux, Urbantschitsch.) Die Schallempfindung links ist im Versuche ausserordentlich schwach, so schwach, dass man sie erst nach einer gewissen Zeit überhaupt wahrnimmt. Sie wird aber in dem Augenblicke deutlicher, wenn auch für sich allein jetzt nicht wahrnehmbar, in welchem die Erregung des rechten Ohres durch das lautere Uhrlicken verstärkend hinzutritt. Und darum entsteht jetzt auch ein subjectives Hörfeld. Kommt ein solches nicht zu Stande, verbleibt vielmehr die Empfindung des Tickens ausschliesslich im r. Ohre, dann sind wir auch nicht mehr in der Lage, nach noch so langem Zuwarten links einen Schall wahrzunehmen. Dieses Ohr ist dann eben ganz aus dem Bereiche des Schallgebers hinausgerückt.

Und noch auf eine zweite Art lässt sich die Unrichtigkeit der M.'schen Deduction erweisen.

Es steht fest, dass jedes subjective Hörfeld seinen Platz im Innern des Kopfes wechseln kann. Es folgt der grösseren Intensität. In unserem Versuche liegt es in der rechten Kopfhälfte, weil r. die Empfindung des Uhrtickens stärker ist. Nun aber verengern wir allmählich den zum r. Ohre führenden Schlauch — das akustische Bild des Tickens kriecht mehr und mehr in den Schädel hinein. Endlich gelingt es, dasselbe bis in die Mitte des Kopfes wandern zu lassen, und jetzt müssen die beiderseitigen Empfindungen gleich sein. Was ist nun noch vorhanden? Wenn von links keine Schall-, sondern nur Richtungsempfindung kommt, so kann auch von rechts keine andere hinzutreten. Wir hätten dann den unmöglichen Fall, dass zwei gleich starke und deshalb ein median gelegenes subjectives Hörfeld erzeugende Klangempfindungen zugegen sind, die beide nur eine Richtung, aber keinen Schall angeben.

Darum können wir ebensowenig diesen U.'schen Versuch als einen zutreffenden Beweis für die M.'sche Lehre von der Schalllocalisation anerkennen, wie seine Angaben über die Urtheilsschärfe im Horizontalkreise, mit welchen, seiner Aussage zufolge (a. a. O. S. 223), seine ganze Theorie steht und fällt. Denn jene Bestimmungen des Maasses der Richtungserkennung gelten zwar für seinen eigenen Beobachter und die von ihm gebrauchte Schallquelle, aber nicht allgemein.

Soll also den Bewegungsempfindungen jede Bedeutung für die Schalllocalisation abgesprochen werden? Keineswegs. Man darf z. B. wohl

annehmen, dass der Hase durch das lebhaftes Spiel seiner »Löffel« recht genaue Auskunft über die Richtung der sein Gehörorgan erreichenden Schallstrahlen erhält und sich nach dieser Botschaft richtet. Bezwecken doch diese Bewegungen nichts Anderes, als die Ohren in die Stellung des besten Hörens zu bringen. Nur dass solche mit Hilfe der Kopf- oder Muschelbewegungen verstärkte Schallempfindungen erst noch die Prüfungsstation der halbcirkelförmigen Canäle passiren müssten, ehe sie für die Erkennung der Richtung verwerthet werden, das lässt sich nun wohl nicht mehr verfechten. Der Mensch ist sicherlich im Stande, ohne dieses Hilfsmittel im Preyer'schen Sinne, die Schallrichtung in den verschiedenen Ebenen des Raumes mit grösserer oder geringerer Zuverlässigkeit zu erkennen. Die Vergleichung der wahrgenommenen Schallintensität auf beiden Ohren und die feinen Klangdifferenzen, welche durch die Stellung und Gestalt der Ohrmuscheln bedingt werden, sie sind uns die bewährten Mittel für diesen Zweck.

Können wir dann noch Locomotion und Kopfbewegungen zur Mitwirkung heranziehen — die nützliche Fähigkeit der Muschelbewegungen haben wir leider eingebüsst — um die Ohren in die Stellung des besten bin- oder monauralen Hörens zu führen — desto besser. Und können wir gar dem Schallerzeuger noch die Sinnenthore des Gesichts und des Tastorgans öffnen, so werden wir noch weitere Aufschlüsse über dessen Art und Stellung im Raume erhalten. —

Fassen wir, am Ende unserer Erörterungen angelangt, die charakteristischen Eigenthümlichkeiten des binauralen Hörens zusammen, so lässt sich etwa Folgendes behaupten:

1. Bei binotischer Einwirkung eines Schalles tritt eine wechselseitige Verstärkung der Gehörempfindung ein (Le Roux).

2. Die Verstärkung wird geringer mit der wachsenden Verschiedenheit der beiderseitigen Gehöreindrücke.

3. Sie beruht wahrscheinlich nicht allein auf der Summirung der beidseitigen akustischen Erregung und der Verlegung der Empfindung in das Innere des Kopfes, sondern auf einer thatsächlichen centralen Steigerung der Erregbarkeit (Urbantschitsch).

4. Bei binotischer Zuleitung eines Tones oder eines Geräusches in die Gehörgänge oder deren nächste Nähe wird der Schall im Kopfe empfunden (Thompson; subjectives Hörfeld Urbantschitsch).

5. Das subjective Hörfeld liegt auf der Seite der stärkeren Schallempfindung. Durch Veränderung der letzteren kann man die Lage desselben beliebig verschieben.

6. Seine Lage innerhalb der Medianebene und die Empfindung des Klangcharakters des geprüften Tones sind von den Phasenverhältnissen der beiderseitigen Schallwellen abhängig.

7. Die wichtigste Function des binauralen Hörens ist die Erkennung der Schallrichtung.

8. In der horizontalen und in der frontalen Ebene ist dieselbe vollkommener als in der sagittalen.

9. In den beiden ersteren beruht sie hauptsächlich auf der Vergleichung der Intensität der beiderseitigen Schallempfindung, in zweiter Reihe auf dem Einflusse der Ohrmuschel auf die Zulassung der Schallwellen zu den Gehörgängen.

10. In der Sagittalebene sind wir auf das letztere Moment allein angewiesen.

11. Verschiedene Eigenschaften des betreffenden Schalles (Dauer, Stärke, Klangfarbe) beeinflussen die Beurtheilung der Richtung besonders in der Sagittalebene, entsprechend der in- und extensiveren Erregung des Hörnerven und gemäss den gesammelten Erfahrungen des täglichen Lebens.

12. Bei Beurtheilung der Entfernung eines Schalles vom Kopfe lassen wir uns weniger durch dessen Gesamtstärke leiten als durch die Intensität der ihn zusammensetzenden Theilklänge.

13. Die Erkennung der Schallrichtung mit nur einem Ohre ist in allen Ebenen höchst mangelhaft.

14. Es hat sich bis jetzt nicht als nothwendig erwiesen, zur Beurtheilung der Schallrichtung andere als die hier berührten physiologischen und psychologischen Momente heranzuziehen.